



---

**Maestría en Ciencias con  
Especialidad en Computación y  
Matemáticas Industriales**

**Plan de Estudios 2016**

**Revisión 2020**

---



## Índice de Contenido

Justificación y reseña histórica	3
Modificaciones realizadas a planes de estudio anteriores	4
Objetivos de la MCC	5
Metas de la MCC	6
Perfil de ingreso	7
Perfil de egreso	7
Estructura del programa	8
Áreas de especialización	11
Asignaturas	13
Otras actividades formativas	17
Intercambio académico	18
Mecanismo de tutorización	19
Opciones de titulación	19
Evaluación y actualización periódica del plan de estudios	20
Infraestructura asociada	20
Programas de las asignaturas	22

## 1) Justificación y reseña histórica

La Maestría en Ciencias con Especialidad en Computación y Matemáticas Industriales del CIMAT (MCC) se creó como programa uni-sede en enero de 1997, con el objetivo de formar recursos humanos de alto nivel en Ciencias de la Computación y Matemáticas Industriales. A partir de 1998 fue incorporada en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC). Después de varios años de crecimiento, obtuvo en 2013 el **nivel de Competencia Internacional** de dicho Padrón.

Con el afán de renovar los contenidos para adaptarlos a las nuevas tecnologías y avances en las diferentes áreas de conocimiento que se cubren por los diferentes miembros del área de computación del CIMAT, durante los últimos años se ha trabajado en el diseño y elaboración de un nuevo plan de estudios. Durante este tiempo se han analizado las nuevas áreas de investigación que han surgido durante los últimos años, y atendiendo a la planta académica con la que se cuenta actualmente, se han podido identificar diversas áreas en las que se han propuesto nuevos cursos o se han modificado los que ya existían. Para este proceso, cada materia propuesta ha sido analizada por varios investigadores, y se han revisado diversos programas docentes de universidades y centros de investigación de reconocido prestigio. En México, en particular, se ha estudiado la estructura de los programas más similares a nuestra Maestría:

- En el Centro de Investigación en Computación (CIC) del Instituto Politécnico Nacional, la Maestría en Ciencia de la Computación.
- En el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), la Maestría en Ciencias en el Área de Ciencias Computacionales.
- En la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Maestría en Ciencia e Ingeniería de la Computación.

Además, se ha tomado en cuenta la experiencia ganada durante años previos, teniendo en cuenta para ello el perfil laboral de los egresados de la maestría y considerando las necesidades de la industria nacional e internacional.

Todo este esfuerzo ha finalizado con el desarrollo del presente documento, en el cual se incluyen todos los detalles del nuevo plan de estudios, así como los programas de las asignaturas que se imparten en la maestría. Este plan de estudios entra en vigor a partir del curso académico 2016/2017. Además, dado que las áreas que se abordan en la maestría están en continuo avance, se establecen mecanismos para poder identificar de

forma oportuna y eficiente el momento en que este nuevo plan esté desfasado, con el fin de que el mismo se pueda renovar de forma periódica.

## 2) Modificaciones realizadas a planes de estudio anteriores

### a) **Modificaciones realizadas respecto al plan de 1998**

De cara a realizar el diseño del nuevo plan de estudios, se han tenido en cuenta los siguientes elementos:

- El plan de estudios anterior estaba anticuado (data de 1998). Con la llegada de nuevos elementos en la planta académica y simplemente con la evolución del conocimiento en Ciencias de la Computación, las áreas de generación de conocimiento se han ampliado y modificado, por lo que se pueden ofrecer nuevos cursos que cubran mejor ciertas áreas de conocimiento. Además, existen algunos cursos que han quedado anticuados y que no se han ofrecido más, por lo que conviene realizar ajustes en este sentido.
- Las evaluaciones realizadas por los comités evaluadores del PNPIC han sugerido en varias ocasiones disminuir el número de materias que cursar para la graduación.
- Las mismas evaluaciones han sugerido afinar el perfil de egreso ya que en la versión anterior del plan de estudios era demasiado genérico, y contemplar la creación de opciones terminales que permitan describir de una forma más clara el perfil de egreso.

En consecuencia, en esta nueva versión del plan de estudios, se ha procedido a realizar los siguientes cambios:

- La estructura del programa ha sido revisada para reducir el número mínimo de materias que aprobar, pasando de 12 cursos en el plan de estudios anterior a 11 cursos en el plan propuesto.
- Se ha revisado el perfil de egreso y se han creado explícitamente tres áreas de especialización.
- Se han adaptado y propuesto varios cursos, ajustándolos al perfil de egreso.
- La nomenclatura de los cursos así como los temarios y referencias se han revisado completamente, y adaptado a la práctica actual de la MCC.

### **b) Modificaciones realizadas respecto al plan de 2016**

Debido a la constante evolución de las ciencias de la computación, en enero de 2018, se incluye una cuarta área de especialización en el perfil de los egresados: Aprendizaje máquina y análisis de datos. La estructura básica del plan de estudios de 2016 se mantiene, por lo que no se considera como un nuevo plan, sino una revisión.

### **c) Modificaciones realizadas respecto a la revisión de 2018**

En 2020 se hicieron nuevas revisiones menores:

- Se actualizaron los programas de las materias, especialmente en lo referente a la bibliografía que se está utilizando, así como cambios menores en los temarios de algunas materias.
- Se amplió la sección destinada a la descripción de las infraestructuras con las que cuentan los estudiantes de la MCC incluyendo los nuevos recursos.
- Se cambió la redacción en algunos apartados para ser más claros y concisos.

La estructura básica del plan de estudios de 2016 se mantiene, por lo que no se considera como un nuevo plan, sino una revisión.

## **3) Objetivos de la MCC**

Dado el crecimiento que ha tenido México en muchos sectores durante las últimas décadas, cada vez hay una demanda más grande de profesionistas y académicos en diferentes áreas. En particular existe actualmente una gran demanda de profesionistas y académicos que tengan una formación sólida teórica-práctica en Matemáticas y Ciencias de la Computación y en particular en Métodos Numéricos, Optimización, Estadística y Programación, de tal forma que puedan colaborar en el crecimiento de áreas emergentes en México como el Análisis de Datos, Aprendizaje Profundo y la Robótica.

La Maestría en Ciencias con Especialidad en Computación y Matemáticas Industriales del CIMAT (MCC) tiene como objetivo contribuir a cubrir la demanda de recursos humanos de alta especialización que requiere México, formando profesionistas y académicos capaces

de realizar investigación de frontera y resolver problemas técnicos sofisticados mediante la aplicación, en diversas áreas, de métodos computacionales y de modelación matemática.

Para que los estudiantes puedan alcanzar estas competencias, el plan de estudios contempla cursos teóricos y prácticos así como el desarrollo de un proyecto tecnológico y un trabajo de tesis que preparen a los egresados para desempeñarse como profesionistas altamente capacitados para resolver problemas en el sector productivo, colaborar con equipos multidisciplinarios en la solución de los mismos, realizar labores de docencia en ambientes académicos y/o emprender estudios de doctorado y dedicarse a la investigación.

## 4) Metas de la MCC

Teniendo en cuenta el objetivo general de la MCC, las metas que se plantean en su plan de estudios son las siguientes:

- Llevar a cabo la formación de recursos humanos especializados en las líneas de investigación que se trabajan en el área de ciencias de la computación del CIMAT.
- Formar personal que sea capaz de trabajar en equipos multidisciplinarios.
- Formar personal que sea capaz de transmitir ideas de forma adecuada.
- Enriquecer la formación de los estudiantes a través de la realización de estancias académicas en diferentes instituciones.
- Involucrar a los estudiantes en proyectos de investigación actuales y de interés nacional.
- Formar estudiantes que puedan continuar estudios de doctorado en otros centros de estudios nacionales o internacionales de gran prestigio.
- Formar personal crítico que sea capaz de identificar líneas de investigación promisorias y proponer ideas que se puedan explotar para avanzar el estado del conocimiento actual.
- Formar estudiantes con valores y capaces de utilizar el método científico para llegar a sus propias conclusiones.



## 5) Perfil de ingreso

La Maestría en Ciencias con Especialidad en Computación y Matemáticas Industriales del CIMAT (MCC) está dirigida a estudiantes que han concluido exitosamente programas de licenciatura en alguna de las ciencias exactas, naturales o de ingeniería, en un área afín a las ciencias de la computación.

Al ingreso, los candidatos deben (1) tener conocimientos de álgebra lineal, cálculo diferencial e integral, geometría analítica, matemáticas discretas y conocimientos básicos en programación y algoritmos, los cuales se evalúan en un examen de admisión, (2) tener aptitudes hacia la investigación, capacidad de comunicación y de resolución de problemas, análisis crítico y capacidad de organización, mismos que se evalúan en un curso propedéutico y una entrevista, (3) manifestar fuerte motivación para trabajar en la resolución de problemas matemático-computacionales en entornos industriales y en la investigación en ciencias de la computación en las áreas que se cultivan en CIMAT.

## 6) Perfil de egreso

La Maestría en Ciencias con Especialidad en Computación y Matemáticas Industriales del CIMAT (MCC) forma maestros en ciencias altamente cualificados y competitivos, con sólidas bases en **programación y modelado matemático**, capacidad de **análisis de problemas** con un enfoque matemático-computacional, capacidad de plantear **soluciones algorítmicas** adecuadas al problema tratado, y capacidad de **comunicación con un equipo multidisciplinario**. Además, el egresado debe demostrar un dominio adecuado del inglés.

El egresado se formará con una especialización de su elección entre cuatro opciones terminales con las que cuenta el plan de estudios:

1. Modelación, Optimización y Cómputo Paralelo.
2. Procesamiento de Señales y Visión por Computadora.
3. Robótica y Sistemas Inteligentes.
4. Aprendizaje Máquina y Análisis de Datos.

La formación que otorga la MCC es versátil; los egresados pueden ubicarse como **académicos**, con la capacidad de contribuir y realizar investigación de vanguardia en las ciencias computacionales, y como **profesionistas**, aptos para la resolución de problemas técnicos sofisticados en un entorno empresarial.

Como **académico**, un egresado de este programa deberá ser capaz de:

- Innovar, identificar y formular problemas en su campo de estudio.
- Conocer el estado del arte actual en el área de especialización escogida durante la realización de su maestría y ser capaz de analizar y estudiar de forma crítica qué aspectos y líneas de investigación son las más propensas de producir mejoras en el futuro.
- Realizar actividades docentes.
- Continuar sus estudios de doctorado en instituciones nacionales y del extranjero de alto nivel.

Como **profesionista en entorno industrial**, un egresado de este programa deberá ser capaz de:

- Aplicar con rigor científico los métodos de modelación matemática impartidos en la Maestría, en el contexto de la resolución de problemas industriales.
- Proponer soluciones computacionales eficientes para la resolución de dichos problemas, usando en particular las últimas tecnologías disponibles en cuanto al uso de recursos computacionales (por ejemplo, cómputo paralelo).
- Asesorar y coordinar el desarrollo y la implementación de soluciones a proyectos de resolución de problemas industriales.

En todo caso se forma también en valores, a través de la creación de ambientes en los que se fomenta el respeto y establecimiento de relaciones cordiales, así como en valores propios de la comunidad científica como la honestidad, veracidad y las implicaciones del plagio.

## 7) Estructura del programa

A continuación se muestra una tabla en donde se lista el conjunto de materias que deben cursar los estudiantes para poder graduarse. Para el caso de las materias obligatorias se lista el número de horas correspondiente a cada una de las mismas, separándolas en horas de trabajo con docente y en horas de trabajo independientes del alumno, asimismo se detallan los créditos e instalaciones necesarias. Para el caso de las materias optativas, se presentan todos los detalles en las secciones posteriores.



A modo de resumen, para la graduación un estudiante debe cursar:

- 4 materias obligatorias
- 1 materia optativa básica de especialización
- 3 materias optativas
- 1 proyecto tecnológico
- 2 seminarios de tesis

En la estructura del programa se especifica cuando se espera que se curse cada una de las materias, aunque dependiendo del estudiante o de posibles problemáticas, esta estructura es flexible y se puede adaptar. Por ejemplo, en casos extraordinarios el proyecto tecnológico puede realizarse durante el periodo semestral o ser sustituido por una materia fuera del periodo de verano. De esta forma, el momento en que se cursa cada materia es una recomendación en lugar de una exigencia.

De cara a realizar el diseño de este programa, se han considerado tanto las relaciones verticales como horizontales entre las asignaturas. Por un lado, especialmente en el caso de las 3 materias obligatorias del primer semestre, se han realizado esfuerzos para que haya una buena coordinación entre las mismas, de forma que cuando una materia requiere aspectos que se trabajan en otra, se encadena la impartición de contenidos de forma adecuada. De la misma forma, en el diseño de materias optativas, también se tiene en cuenta el contenido de las materias obligatorias, con el fin de que no existan materiales repetidos y que se pueda conseguir un mejor aprendizaje. Cabe destacar que varias asignaturas tienen como prerrequisitos la superación de algunas otras materias; estos casos se especifican a través de la seriación de las mismas. Por último, cabe mencionar que, a excepción de las materias con una seriación específica, ninguna materia tiene prerrequisitos adicionales a los que se consideran para la aceptación de los estudiantes en el programa de maestría y que ya fueron mencionados en la sección correspondiente al perfil de ingreso.

El tiempo de graduación previsto, teniendo en cuenta la estructura del programa es de 2 años, y las formas de graduación, así como sus requisitos se especifican en las siguientes secciones.

Semestre	LISTA DE ASIGNATURAS O UNIDADES DE APRENDIZAJE	CLAVE	SERIACIÓN	HORAS		CRÉDITOS	INSTALACIONES A= Aula L = Laboratorio T=Taller O=Otros
				CON DOCENTE	INDEPENDIENTES		
Sem. 1	Análisis de Datos	C16ADD1	-	48	96	<b>9</b>	A, L
	Métodos Numéricos	C16NUM1	-	48	96	<b>9</b>	A, L
	Programación y Algoritmos I	C16PRG1	-	48	96	<b>9</b>	A, L
Sem. 2	Optimización I  Optativa Básica de Especialización  Optativa I  Optativa II	C16OPT1	C16NUM1, C16PRG1	48	96	<b>9</b>	A, L
Verano	Proyecto Tecnológico I	C16TEC1	-	15	81	<b>6</b>	O, L
Sem. 3	Seminario de tesis I  Optativa III	C16TES1	-	30	114	<b>9</b>	O, L
Sem. 4	Seminario de tesis II	C16TES2	C16TES1	30	114	<b>9</b>	O, L

TOTAL 267	TOTAL 693	TOTAL <b>60</b>
--------------	--------------	--------------------

## 8) Áreas de especialización

El programa ofrece cuatro áreas de especialización:

- Modelación, Optimización y Cómputo Paralelo (MOCP).
- Procesamiento de Señales y Visión por Computadora (PSVC).
- Robótica y Sistemas Inteligentes (RSI).
- Aprendizaje Máquina y Análisis de Datos (AMAD).

Para cada área de especialización, se proponen materias Básicas de Especialización, así como un conjunto de materias optativas. Las materias Básicas de Especialización para cada área de especialización son las siguientes:

- En MOCP: C16ELF1, C16OPE1, C16MOD1
- En PSVC: C16SIG1, C16VIS1
- En RSI: C16ROB1, C16CTR1
- En AMAD: C16REC1, C16TAM1, C16TAD1

En la tabla que se presentará abajo, se muestra la lista de los cursos básicos y optativos de especialización con los que cuenta el Programa. Para cada materia se incluye su clave, seriación (materias requeridas para cursar la asignatura), las horas asociadas a la misma, el número de créditos, y la información sobre las instalaciones requeridas.

En la última columna se especifica el área de especialización asociada a cada curso y también se indica lo siguiente al lado de las siglas de especialización:

- Materias básicas de especialización se marcan con símbolo "+".
- Materias no asociados a un área de especialización particular se marcan con símbolo "-".
- Materias avanzadas en su mayoría Temas Selectos o Temas de Investigación, se marcan con símbolo "\*". En función del tema específico del curso y de su temario, el Comité Académico del Posgrado de Ciencias de la Computación podrá decidir asociar a estas materias una o varias áreas de especialización. En estos casos, será como asignatura optativa de área y no como asignatura básica de especialización.

El estudiante elegirá al inicio del tercer semestre un área de especialización. Para elegir un área de especialización dada, el estudiante deberá: (1) haber cursado en el semestre 2 una materia Básica de Especialización asociada a esta área y (2) cursar o haber cursado al menos una Optativa de Especialización en semestre 2 o 3, en función del área elegida.



Ejemplo 1: José cursa las 4 materias obligatorias de los primeros dos semestres. Además, en el semestre 2, toma las 3 materias siguientes: Reconocimiento Estadístico de Patrones I (C16REC1), Elemento Finito I (C16ELF1), Temas Selectos de Análisis de Datos (C16TAD1). En el periodo de verano, realiza el Proyecto Tecnológico I (C16TEC1). Al inicio del tercer semestre, puede elegir entre el área de especialización AMAD (para la cual ya tiene una materia Básica y una Optativa) o el área de especialización MOCP (para la cual ya tiene una materia Básica). Opta por el área AMAD y cursa finalmente Programación y Algoritmos II (C16PRG2) en el semestre 3.

Ejemplo 2: María cursa las 4 materias obligatorias de los primeros dos semestres. Además, en el semestre 2, toma de optativas las 3 materias siguientes: Optimización Estocástica (C16OPE1), Procesamiento de Señales I (C16SIG1), Robótica I (C16ROB1). En el periodo de verano, realiza el Proyecto Tecnológico I (C16TEC1). Al inicio del tercer semestre, puede elegir entre las áreas de especialización MOCP, PSVC y RSI. Se decide por MOCP (para la cual tiene una materia Básica) y cursa Cómputo Evolutivo (C16EVO1) en el semestre 3.

## 9) Asignaturas

ASIGNATURAS O UNIDADES DE APRENDIZAJE OPTATIVAS	CLAVE	SERIACIÓN	HORAS		CRÉDITOS	INSTALACIONES A= Aula L = Laboratorio T=Taller O=Otros	AREA DE ESPECIALIZACIÓN
			CON DOCENTE	INDEPENDIENTES			
Cómputo Evolutivo	C16EVO1	C16OPE1	48	96	9	A, L	MOCP
Cómputo Paralelo	C16PAR1		48	96	9	A, L	-
Control I	C16CTR1		48	96	9	A, L	RSI+
Control II	C16CTR2	C16CTR1	48	96	9	A, L	RSI
Elemento Finito I	C16ELF1	C16NUM1	48	96	9	A, L	MOCP+
Elemento Finito II	C16ELF2	C16ELF1	48	96	9	A, L	MOCP
Geometría Computacional	C16GCO1	C16PRG1	48	96	9	A, L	-
Gráficas por Computadora	C16GCC1		48	96	9	A, L	-
Inteligencia Artificial	C16INA1		48	96	9	A, L	AMAD
Métodos Numéricos en Paralelo	C16MNP1		48	96	9	A, L	MOCP
Modelación numérica	C16MOD1		48	96	9	A, L	MOCP+
Modelos Gráficos Probabilistas	C16MGP1		48	96	9	A, L	-
Optimización II	C16OPT2	C16OPT1	48	96	9	A, L	MOCP
Optimización Estocástica	C16OPE1		48	96	9	A, L	MOCP+
Procesamiento de Señales I	C16SIG1		48	96	9	A, L	PSVC+

Procesamiento de Señales II	C16SIG2	C16SIG1	48	96	9	A, L	PSVC
Programación de Redes de Comunicación	C16RED1	C16PRG1	48	96	9	A, L	-
Programación y Algoritmos II	C16PRG2	C16PRG1	48	96	9	A, L	-
Reconocimiento Estadístico de Patrones I	C16REC1		48	96	9	A, L	AMAD+
Reconocimiento Estadístico de Patrones II	C16REC2	C16REC1	48	96	9	A, L	AMAD
Robótica I	C16ROB1		48	96	9	A, L	RSI+
Robótica II	C16ROB2	C16ROB1	48	96	9	A, L	RSI
Robótica Probabilística	C16ROP1	C16ROB1	48	96	9	A, L	RSI
Temas Selectos de Análisis de Datos	C16TAD1		48	96	9	A, L	AMAD+
Temas Selectos de Aprendizaje Máquina I	C16TAM1		48	96	9	A, L	AMAD+
Temas Selectos de Aprendizaje Máquina II	C16TAM2		48	96	9	A, L	AMAD
Temas Selectos de Geometría	C16TGE1		48	96	9	A, L	-
Temas Selectos de Imágenes Biomédicas	C16TIB1		48	96	9	A, L	PSVC
Visión Computacional I	C16VIS1		48	96	9	A, L	PSVC+
Visión Computacional II	C16VIS2	C16VIS1	48	96	9	A, L	PSVC
Temas de Investigación en Análisis de Datos	C16TID1		48	96	9	A, L	*
Temas de Investigación en Visión	C16TIV1		48	96	9	A, L	*
Temas de Investigación en Análisis y Procesamiento de Imágenes I	C16TPI1		48	96	9	A, L	*

Temas de Investigación en Análisis y Procesamiento de Imágenes II	C16TPI2		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Computación I	C16TCO1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Computación II	C16TCO2		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Cómputo Estadístico	C16TCE1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Cómputo Evolutivo I	C16TEV1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Cómputo Evolutivo II	C16TEV2		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Cómputo Paralelo I	C16TCP1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Cómputo Paralelo II	C16TCP2		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Ecuaciones Diferenciales	C16TED1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Inteligencia Artificial I	C16TIA1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Inteligencia Artificial II	C16TIA2		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Matemáticas I	C16TMB1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Matemáticas II	C16TMB2		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Matemáticas Aplicadas I	C16TMA1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Matemáticas Aplicadas II	C16TMA2		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas selectos de Modelación Numérica I	C16TMN1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Modelación Numérica II	C16TMN2		48	96	<b>9</b>	A, L	*

Temas Selectos de Optimización I	C16TOP1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Optimización II	C16TOP2		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Probabilidad y Estadística I	C16TPE1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Probabilidad y Estadística II	C16TPE2		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Procesamiento de Señales	C16TPS1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Programación y Algoritmos I	C16TPA1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Programación y Algoritmos II	C16TPA2		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Robótica I	C16TRO1		48	96	<b>9</b>	A, L	*
Temas Selectos de Robótica II	C16TRO2		48	96	<b>9</b>	A, L	*

NÚMERO MÍNIMO DE HORAS QUE SE DEBERÁN ACREDITAR EN LAS ASIGNATURAS OPTATIVAS, BAJO LA CONDUCCIÓN DE UN DOCENTE

192

NÚMERO MÍNIMO DE CRÉDITOS QUE SE DEBERÁN ACREDITAR EN LAS ASIGNATURAS OPTATIVAS

36



## 10) Otras actividades formativas

El CIMAT es un centro que se caracteriza por la gran cantidad de seminarios y talleres formativos que se organizan en sus instalaciones. Entre todos estos, y de especial relevancia para la maestría en Ciencias con Especialidad en Computación y Matemáticas Industriales, cabe destacar el seminario de computación. Este seminario se celebra semanalmente y tiene como uno de sus principales objetivos que se impartan charlas de investigación en las diferentes líneas que se trabajan dentro del área de computación.

Las charlas impartidas en el seminario de computación se pueden categorizar en dos tipos en función del público objetivo y de las metas de las mismas. En primer lugar, se celebran algunas charlas de tipo introductorio a las diferentes líneas de investigación que se trabajan en el área de computación. Esto permite que los estudiantes, incluso antes de llevar materias específicas de las diferentes áreas, puedan familiarizarse con el tipo de problemas que se puede abordar en cada área, lo que facilita la elección del área en que se quieren especializar. Por otro lado, también se celebran muchas charlas de investigación, en las que se presentan nuevas técnicas y resultados que han sido publicados recientemente en congresos y revistas. Este tipo de charlas complementa la formación impartida en las asignaturas y además, en muchos casos facilitan que se pueda comenzar colaboraciones con personal académico de otros centros nacionales e internacionales. De esta forma, este tipo de seminarios también fomenta la realización de estancias académicas por parte de los estudiantes e investigadores.

Otra forma de introducir al alumnado en la docencia, es a través de las ayudantías de docencia. A través de las mismas se le asigna a los estudiantes algunas tareas de ciertas materias, como la aclaración de dudas o la revisión de tareas, lo que ayuda a que los estudiantes puedan visualizar y colaborar de una manera más cercana en la forma en que se organiza y desarrolla una materia. Esto les da cierta experiencia inicial que les podrá ser muy útil especialmente para aquellos egresados que elijan la rama académica.

Por último, cabe destacar que la planta académica fomenta de manera activa la participación de los estudiantes en diferentes concursos nacionales e internacionales que se enmarcan en las líneas de investigación que se trabajan dentro del área de computación. Este tipo de eventos permite que los alumnos puedan desarrollar un proyecto para una tarea específica utilizando diferentes técnicas y conocimientos de entre los impartidos en la maestría y comparar sus métodos frente a otros esquemas desarrollados por otros grupos, con lo que generalmente tiene buenas repercusiones en lo referente a la motivación de los estudiantes. Además, este tipo de eventos muchas veces



propicia colaboraciones posteriores con lo que es una forma en la que se puede fomentar la realización de estancias académicas, aumentando además la visibilidad del trabajo de los alumnos e investigadores y del CIMAT en general.

Finalmente, cabe destacar las presentaciones de avances de tesis realizadas por los estudiantes al final del tercer y un par de meses antes de los dos años que dura el programa. Estas presentaciones tienen dos objetivos fundamentales: fortalecer la formación de los estudiantes para presentar su trabajo y verificar el avance de los trabajos de tesis para alentar su culminación en tiempo y forma.

## 11) Intercambio académico

Una de las características distintivas de la MCC es la promoción del intercambio académico y de la realización de colaboraciones entre los estudiantes de este programa y docentes e investigadores de reconocido prestigio que laboran en otras instituciones. Dada la naturaleza de la maestría, en la cual se abordan problemáticas de muchas áreas diferentes, este tipo de acciones son muy importantes y enriquecedoras para los alumnos. Por ello, se fomenta que se realicen estancias con investigadores de diversas áreas, facilitando así el desarrollo de proyectos multidisciplinarios. Por las razones previamente expuestas, anualmente en el CIMAT hay una partida presupuestal dedicada a la realización de estancias académicas y desde la Coordinación de Formación Académica se hacen esfuerzos para encontrar las posibles fuentes de financiación existentes que se puedan utilizar para este propósito, por ejemplo las becas de movilidad de CONACyT.

Las estancias y colaboraciones académicas se realizan por parte de los estudiantes durante el tercer o cuarto semestre y durante las mismas se trabaja en las temáticas que conformarán la tesis del estudiante. Antes de la realización de cada estancia académica, se propone un plan de trabajo que incluye al menos los objetivos, tareas y planificación de la estancia académica. Este documento debe ser aprobado por el investigador responsable y debe obtener el visto bueno del Consejo Académico de Programas (C.A.P.) del área de Ciencias de la Computación. Las estancias realizadas generalmente tienen una duración de entre 3 y 6 meses y se planifican teniendo en cuenta la viabilidad de que pueda ser compatible la realización de dicha estancia con el desarrollo oportuno de la tesis de maestría en tiempo y forma.

## 12) Mecanismo de tutorización

Con el objetivo de facilitar la integración de los estudiantes en el CIMAT, así como de realizar su seguimiento y tomar acciones correctivas si fuera necesario, a cada estudiante se le asigna un tutor al matricularse en la Maestría en Ciencias con Especialidad en Computación y Matemáticas Industriales del CIMAT. Dicho tutor debe cumplir con las siguientes funciones principales:

- Orientar en la utilización de recursos y aprovechamiento de actividades que se organizan en CIMAT: biblioteca, listas de correo, información sobre seminarios y talleres.
- Orientar en la selección de materias optativas en base a los intereses del estudiante.
- Dar el visto bueno a las materias dadas de alta o materias dadas de baja por el estudiante. El visto bueno del tutor puede ser sustituido por el visto bueno del coordinador de la maestría.
- Solicitar información de forma continua sobre el desempeño del estudiante, y en caso de que esté por debajo de lo esperado, aconsejar al estudiante para que se puedan tomar medidas correctivas.
- Ser enlace en posibles problemáticas que le puedan surgir al estudiante.

El proceso de asignación de tutores a estudiantes es aleatorio, aunque durante el tercer semestre y tras la elección del tema de tesis, la función de tutoría pasa al director de tesis.

## 13) Opciones de titulación

Para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Computación y Matemáticas Industriales, la única opción de titulación requiere:

- Haber cubierto como mínimo un total de **96 créditos (60 obligatorios y 36 optativos)** del plan de estudios. Estos créditos comprenden **8 materias, un Proyecto Tecnológico y 2 Seminarios de Tesis.**
- Después de aprobar los Seminarios de Tesis I y II, presentar y aprobar ante un comité ad-hoc un **examen de grado** donde se expone el trabajo de tesis, que se realizará en el área de especialización elegida.



- Aprobar un examen de **inglés**, cuya modalidad es determinada por el Consejo de Programas Docentes de CIMAT.
- Atender en tiempo y forma **el procedimiento administrativo de graduación** que establece la Coordinación de Formación Académica del CIMAT.

## 14) Evaluación y actualización periódica del plan de estudios

Los aspectos académicos del programa están a cargo del **Comité Académico del Posgrado** (CAP) de Ciencias de la Computación del CIMAT. Entre otras funciones, este comité tiene bajo su responsabilidad la planeación académica (establecer la lista de cursos optativos para cada semestre), la evaluación y la actualización periódica del plan de estudios. Sus decisiones se toman de manera colegiada, siguiendo los lineamientos definidos para los posgrados en Ciencias de la Computación y la normativa interna del CIMAT.

De cara a la evaluación y actualización periódica del plan de estudios, este comité se reunirá cada año tras la finalización del curso académico, y en base a las estadísticas reportadas por el coordinador del programa en lo referente al estado de los estudiantes egresados, y teniendo en cuenta los avances acaecidos en cada área de especialización se determinará si es necesario realizar una actualización o realizar un nuevo plan de estudios. Para poder evaluar si hay áreas concretas en las que se deban llevar a cabo actualizaciones, este comité consultará con los investigadores del área correspondiente, especialmente con los que hayan impartido las materias durante los últimos cursos académicos.

## 15) Infraestructura asociada

Todos los estudiantes de la maestría cuentan con un espacio personal en oficinas compartidas. A todos los estudiantes se les asigna una cuenta institucional de correo electrónico. Los estudiantes de la MCC necesitan contar con equipo de cómputo adecuado para realizar actividades como tareas y proyectos en los que requieren implementar código de programación. El Centro dispone de alrededor de 65 computadoras tipo PC de escritorio para asignarlas a los estudiantes de la MCC al inicio de sus estudios.



La Unidad Guanajuato del Centro, en donde se ofrece la MCC, cuenta con aproximadamente 1500 nodos de red para la conexión alámbrica de los dispositivos de los usuarios finales (impresoras, PCs, teléfonos IP, etc.). Para la red inalámbrica se cuentan con 82 puntos de acceso distribuidos por toda la Unidad para proveer de conexión inalámbrica a los usuarios. Se cuenta con 4 enlaces para la conexión a internet con velocidades de 60, 80, 100 y 500 Mbps.

La necesidad de contar con **equipos de videoconferencia** ha permitido que actualmente se disponga de 9 espacios con esta capacidad de comunicación, entre ellos: 1) Auditorio G002 "J.A. Canavati" (capacidad: 100 personas), 2) Salón G101 "Diego Bricio" (capacidad: 40 personas), 3) Salón de Usos Múltiples K201 (capacidad: 40 personas), 4) Salones de junta D607 y D609 (capacidad: 10 personas).

La **biblioteca** del CIMAT satisface las necesidades de información científica en las áreas del conocimiento que se cultivan en el Centro, matemáticas, probabilidad, estadística y ciencias de la computación, para uso de los profesores, visitantes y estudiantes adscritos a los programas docentes. La biblioteca del Centro concentra un acervo de más de 23,900 títulos, 32,300 volúmenes y más de 690 tesis, una colección importante de revistas científicas con suscripciones vigentes y acceso electrónico, así como acceso a diferentes bibliotecas digitales y bases de datos.

Además, el centro cuenta con **3 laboratorios**, todos ellos ampliamente utilizados por los estudiantes de la MCC:

- **Laboratorio de computación general.** Cuenta con 20 computadoras que se usan para talleres y cursos para todos los posgrados del centro. Además, el laboratorio cuenta con unidades de procesamiento gráfico de gama intermedia que usan especialmente los estudiantes de la MCC para resolver problemas de tamaños intermedios que requieran la utilización de GPUs.
- **Laboratorio de señales y robótica,** destinado al trabajo de las líneas de investigación y las áreas de especialización de la MCC. Cuenta con robots humanoides, robots de ruedas, vehículos aéreos tipo cuadricópteros, un equipo de captura de movimiento (de la Universidad de Guanajuato), computadoras con software especializado, así como sensores tradicionalmente usados en esta área (cámaras, láseres, cámaras RGBD, etc.).
- **Laboratorio de súpercomputo.** Dada la naturaleza de los problemas que tratan los estudiantes de la MCC, en muchos casos se requieren grandes capacidades de cómputo para poder abordarlos, así como la utilización de cómputo paralelo. El laboratorio está formado por los recursos adquiridos en los proyectos Cluster El-Insurgente y Laboratorio de Supercómputo del Bajío, además de otros servidores enfocados a casos de uso específicos. Se cuenta actualmente con más



de 1700 núcleos de cómputo tipo CPU, 24 tarjetas GPU, 4.9TB RAM y 50 TB de almacenamiento.

## 16) Programas de las asignaturas

En el resto del documento se incluyen los programas específicos para todas las asignaturas obligatorias y optativas contempladas en el plan de estudios actual. Para cada asignatura se describen sus objetivos, el temario, las actividades de aprendizaje, los criterios y procedimientos de evaluación y la bibliografía más relevante.

Los programas se presentan por orden alfabético del nombre de la materia.

**ANÁLISIS DE DATOS**

CICLO

**SEMESTRE 1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16ADD1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El objetivo del curso es cubrir la base de la probabilidad, la estadística matemática y la ciencia de datos. En primer lugar se trata de aprender a usar los diferentes conceptos, aprender a reconocerlos en problemas de análisis de datos, y aprender a dominar herramientas matemáticas y algorítmicas para solucionar estos problemas.

Enseñamos y usamos el lenguaje R como plataforma principal para el análisis de datos.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

Parte 1: Probabilidad

- **Conceptos básicos:** probabilidades, variables aleatorias, distribuciones, momentos, independencia, regla de Bayes, variables multidimensionales, transformaciones de variables aleatorias, medidas de dependencia, teoremas de límite, simulación; aplicaciones ilustrativas en computación matemática.

Parte 2: Análisis de datos

- **Panorama general:** conceptos generales de ciencia de datos, minería de datos y reconocimiento estadístico de patrones.
- **Técnicas básicas de exploración y visualización de datos.** Errores más comunes, ejemplos de herramientas informáticas para el análisis de datos (dashboards, notebooks, etc.).
- **Introducción a la inferencia estadística:** pruebas de hipótesis, intervalos de confianza y estimaciones puntuales, métodos computacionalmente intensivos.



- **Modelación estadística y modelación predictiva;** introducción a la regresión lineal; ejemplos de métodos de predicción y clasificación.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales.

Resolución de ejercicios (de manera individual y en sesiones semanales de ejercicios).

Desarrollo de mini proyectos.

Lectura de artículos de divulgación.

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas semanales (40%)

Tres exámenes parciales (40%)

Dos tareas-proyectos (20%)

#### BIBLIOGRAFÍA

J. Van Horebeek, *Introducción a Métodos Estocásticos para Ciencias de la Computación*, Notas propias CIMAT, 2018.

F.M. Dekking, C. Kraaikamp, H.P. Lopuhaa, L.E. Meester. *A Modern Introduction to Probability and Statistics*. Springer, 2005.

S. Skiena, *The Data Science Design Manual*, Springer, 2017.

C. Grinstead & L. Snell, *Introduction to Probability*, American Mathematical Society, 1998.

G. James, D. Witten, T. Hastie, R. Tibshirani, *Introduction to Statistical Learning*, Springer, 2017.

D. Spiegelhalter, *The Art of Statistics: How to Learn from Data*, Basic Books, 2019.

C.Wilke, *Fundamentals of Data Visualization*, O'Reilly Media, 2019.



**CÓMPUTO EVOLUTIVO**

CICLO

**SEMESTRE 3**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16EVO1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

En esta asignatura se introducen y analizan diversos métodos de optimización aproximados basados en cómputo evolutivo para los ámbitos de optimización con restricciones y optimización multi-objetivo. Además, se cubre la forma de diseñar e implementar algoritmos evolutivos paralelos. Para cada propuesta se analizan sus fundamentos y se llevan a la práctica a través de la resolución de problemas complejos.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**Tema 1: Optimización con restricciones**

- Funciones de penalización
- Decodificadores
- Operadores especiales
- Ordenamiento estocástico
- El método de la restricción  $\epsilon$
- Aplicación de esquemas y conceptos multi-objetivo
- Análisis de rendimiento

**Tema 2: Optimización multi-objetivo**

- Dominancia de Pareto
- Análisis de Rendimiento y Métricas multi-objetivo
  - Hipervolumen
  - Indicador  $\epsilon$

- Contribución
- Superficies de cubrimiento
- Test Estadísticos
- Otras métricas
- Funciones de Escalarización
- Variantes iniciales de algoritmos evolutivos multi-objetivo
- Algoritmos evolutivos basados en la dominancia de Pareto
- Algoritmos evolutivos basados en descomposición
- Algoritmos evolutivos basados en indicadores
- Funciones de Benchmark Multi-objetivo
- Mecanismos de Preservación de diversidad
  - Espacio de las variables
  - Espacio objetivo

### **Tema 3: Algoritmos evolutivos paralelos**

- Paralelización de la función de evaluación
- Modelo Maestro-Trabajadores
- Esquemas basados en islas
- Modelos celulares
- Métricas de rendimiento

### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

Desarrollo de software de cómputo matemático

Lectura de publicaciones recientes

Desarrollo de un proyecto

Preparación de presentaciones

### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas Semanales (35%)

Tareas Mensuales (35%)

Proyecto (25%)



Presentación de proyecto (5%)

#### BIBLIOGRAFÍA

- E. Mezura-Montes. *Constraint-Handling in Evolutionary Optimization*, Springer, 2009.
- C. Coello, G. B. Lamont, D. Van Veldhuizen. *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*, Springer, 2007.
- K. Deb. *Multi-objective Optimization using Evolutionary Algorithms*, Wiley, 2001.
- E. Alba. *Parallel Metaheuristics: A New Class of Algorithms*. Wiley, 2005.
- El-Ghazali Talbi. *Metaheuristics: From Design to Implementation*. Wiley, 2009.

**CÓMPUTO PARALELO**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16PAR1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

La asignatura presenta un recorrido por las técnicas y herramientas más utilizadas para el análisis, diseño, implementación y comparación de algoritmos paralelos sobre diversas plataformas. Se revisan diferentes modelos de programación, haciendo especial énfasis en el uso de herramientas estándar como OpenMP, MPI y CUDA. Se analiza la utilización de estas herramientas en aplicaciones de varios ámbitos diferentes, incluyendo optimización matemática.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**Tema 1: Introducción**

- Arquitectura Von Neumann
- Desempeño del procesador
- Arquitecturas UMA y NUMA
- Sistema multiprocesamiento
- Caché: coherencia, caché hits, cache miss
- *Prefetchers*
- Relación de los conceptos anteriores con OpenMP
- Análisis de rendimiento: Valgrind (Cachegrind, cg\_annotate)

**Tema 2: Programación en C**

- Organización de la memoria (Heap, Stacks, Globals)
- Programación para uso eficiente del caché

### Tema 3: Conceptos básicos en cómputo paralelo

- Representación de algoritmos en un Grafo Dirigido Acíclico (DAG)
- Medidas de complejidad
- Aceleración teórica y eficiencia
- Métricas para entornos heterogéneos
- La ley de Amdahl
- Escalabilidad
- Funciones de *overhead*
- Extracción de paralelismo: modelo de datos paralelos, modelo de granjas, grafos de tareas, pipeline
- Fuentes de pérdida de rendimiento

### Tema 4: OpenMP

- Introducción
- *Deadlocks*, sincronía y conformidad con el estándar
- Directivas
- Cláusulas
- Modelo de memoria
- Librerías
- Estructura de un programa C con OpenMP
- Reducciones
- Sincronización
- Tareas
- Anidaciones
- *Locks*
- Aplicaciones

### Tema 5: MPI

- Introducción



- Modelo de programación
- Compilación y ejecución
- Estructura de programas MPI en C
- SSH
- Tipos de datos simples
- Comunicaciones: punto a punto o en grupo, sincronía, bloqueos
- Implementación interna de operaciones de comunicación grupales
- Administración del ambiente
- *Buffering*
- Estructuras y datos derivados
- Topologías
- Empaquetamiento
- Debuggeo con MPI.
- Aplicaciones

#### **Tema 6: Optimización paralela**

- Introducción a metaheurísticas
- Paralelización de técnicas de optimización exactas
- Paralelización de técnicas de optimización aproximadas
- Análisis de rendimiento

#### **Tema 7: CUDA**

- Introducción
- Arquitectura de las Unidades de Procesamiento Gráficas (GPU)
- Modelo de programación
- Compilación y ejecución
- Bloques y *threads*
- Sincronización
- Operaciones atómicas
- Compartición de datos
- Uso eficiente de GPUs



- Algoritmos paralelos
- *Streams*
- Análisis de rendimiento
- Librerías
- Aplicaciones.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

Programación de software

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

60% tareas

20% primer proyecto

20% segundo proyecto

#### BIBLIOGRAFÍA

A. Grama, A. Gupta, G. Karypis, V. Kumar. *Introduction to Parallel Computing*. Addison-Wesley, 2003

D.P. Bertsekas and J.N. Tsitsiklis. *Parallel and Distributed Computation: Numerical Methods*. Athena Scientific, 1997.

Quinn, M. J. *Parallel Computing: Theory and Practice*. McGraw-Hill, New York, 1994.

J. Jája: *An Introduction to Parallel Algorithms*. Addison Wesley, Massachusetts, 1992.

*Valgrind documentation*: <http://valgrind.org/docs/manual/>

*Rogue Wave Software. 8 Steps to Optimizing Cache Memory Access and Application Performance. A recommended approach for cache memory optimization, 2011*

Markus Kowarschik, Christian Weib. Chapter "An Overview of Cache Optimization Techniques and Cache-Aware Numerical Algorithms" in *Algorithms for Memory Hierarchies*, 2003

Brian Dougherty, Jules White, Russell Kegley, Jonathan Preston, Douglas C. Schmidt, and Aniruddha Gokhale, *Optimizing Integrated Application Performance with Cache-aware Metascheduling*, Proceedings of the 1st International Symposium on Secure Virtual Infrastructure, 2011

Stefano Cozzini. *Optimization techniques: an overview*.

[http://http://www.democritos.it/events/computational\\_physics/lecture\\_stefano3.pdf](http://http://www.democritos.it/events/computational_physics/lecture_stefano3.pdf), 2005.



OpenMP Specification: <http://www.openmp.org>

R. Chandra, L. Dagum, D. Kohr, D. Maydan, J. McDonald, R. Menon. *Parallel Programming in OpenMP*. Morgan Kaufmann Publishers, 2000.

B. Chapman, G. Jost, R. V. Der Pas. *Using OpenMP. Portable Shared Memory Parallel Programming*. The MIT Press, 2008

M. J. Quinn. *Parallel Programming in C with MPI and OpenMP*. McGraw Hill, 2003.

P. S. Pacheco. *Parallel Programming with MPI*. Morgan Kaufmann, 1997.

Jason Sanders, Edward Kandrot. *CUDA by Example: An Introduction to General-Purpose GPU Programming*. Addison-Wesley, 2011.

Curso udacity: *Intro to Parallel Programming*: <https://www.udacity.com/course/cs344>

*CUDA C Programming Guide*: <http://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/>

S. Mohanty, A. K. Mohanty, F. Carminati. *Efficient pseudo-random number generation for Monte-Carlo simulation using graphic processors*. Journal of Physics, 2012.

John Cheng, Max Grossman, Ty McKercher. *Professional CUDA C Programming*. Wiley, 2014.

S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, M. P. Vecchi. *Optimization by Simulated Annealing*. Science 220 (13), 1983.

Enrique Alba. *Parallel Metaheuristics: A New Class of Algorithms*. Wiley, 2005.

A. Corana, M. Marchesi, C. Martini, S. Ridella. *Minimizing multimodal functions of continuous variables with the "simulated annealing" algorithm*. ACM Transactions on Mathematical Software 13 (3), 1987.

J. S. Higginson, R. R. Neptune, F. C. Anderson. *Simulated parallel annealing within a neighborhood for optimization of biomechanical systems*. Journal of Biomechanics 38 (9), 2005.



**CONTROL I**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16CTR1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El alumno será capaz de analizar, modelar, diseñar y evaluar sistemas de control continuo y discreto en lazo cerrado para sistemas lineales, los cuales satisfagan el desempeño deseado según las especificaciones requeridas por la aplicación.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Introducción al control de sistemas**

- a. Importancia del control de sistemas
- b. Transformada de Laplace

**II. Modelado de sistemas físicos**

- a. Función de transferencia
- b. Algebra de bloques
- c. Espacio de estados

**III. Análisis transitorio y de estado estable**

- a. Análisis de respuesta transitoria y de estado estable de sistemas de primer orden
- b. Análisis de respuesta transitoria y de estado estable de sistemas de segundo orden
- c. Errores en estado estacionario

**IV. Análisis de estabilidad**

- a. Criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz
- b. Método del lugar geométrico de las raíces

**V. Acciones básicas de control**

- a. Control ON-OFF
- b. Control PID
- c. Métodos básicos de sintonización de controladores PID

**VI. Diseño de compensadores**

- a. Compensadores de adelanto
- b. Compensadores de atraso
- c. Compensadores de adelanto-atraso

**VII. Representación de sistemas en el espacio de estados**

- a. Representaciones canónicas de sistemas en espacio de estados
- b. Solución de la ecuación de estado
- c. Controlabilidad y observabilidad

**VIII. Control por realimentación del estado**

- a. Diseño de controladores por reubicación de polos
- b. Formula de Ackerman
- c. Diseño del observador de Luenberger
- d. Control con estimación del estado
- e. Control para seguimiento de trayectorias

**IX. Control de sistemas en tiempo discreto**

- a. Importancia del control en tiempo discreto
- b. Transformada Z y ecuaciones en diferencias
- c. Función de transferencia pulso



- d. Proceso de muestreo y retención
- e. Estabilidad de sistemas en tiempo discreto
- f. Diseño de controladores en tiempo discreto

## **X. Introducción al control de sistemas no lineales**

### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

Desarrollo de un proyecto

### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Primer examen 15%

Segundo examen 25%

Proyecto final 25%

Tareas 35%

### BIBLIOGRAFÍA

K. Ogata. *Modern Control Engineering*, 4th Ed., Pearson, Prentice Hall, 2001.

K. Ogata. *Discrete-time control systems*, 2nd ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. , 1995.

R.C. Dorf. *Modern Control Systems*, 9th Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ , 2001.

G. Franklin, J.D. Powell and A. Emami-Naeini. *Feedback Control of Dynamic Systems*, 5th Edition, Pearson, Prentice Hall, 2006.

### SOFTWARE DE APOYO

Matlab, Scilab, Python

**CONTROL II**

CICLO

**SEMESTRE 3**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16CTR2**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El alumno estudiará el estado del arte del control de robots, tanto robots móviles como robots manipuladores industriales, por medio de visión como único sensor para realimentación de información, con aplicaciones en posicionamiento y navegación.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Introducción al control de sistemas lineales de múltiples entradas**

- a. Controlabilidad
- b. Realimentación del estado
- c. Seguimiento de trayectorias
- d. Estabilidad de Lyapunov

**II. Introducción al control de sistemas no lineales**

- a. Concepto de grado relativo
- b. Linealización de entrada-salida
- c. Control robusto

**III. Introducción al control visual de robots**

- a. Clasificación de esquemas de control visual
- b. La función de tarea
- c. Matriz de interacción o Jacobiano de imagen

**IV. Modelos de cámara**

- a. Modelo de cámara perspectiva
- b. Modelo de cámara omnidireccional

**V. Visión para control de robots**

- a. Búsqueda de correspondencias
- b. El modelo de homografía
- c. La geometría epipolar
- d. El tensor trifocal
- e. Rastreo de puntos

**VI. Control visual basado en posición**

- a. Representación de rotaciones – fórmula de Rodríguez
- b. Estimación de postura con cámara monocular
- c. Esquema de control basado en posición
- d. Estabilidad del control basado en posición
- e. Esquema de control basado en posición binocular

**VII. Control visual basado en imagen**

- a. Matriz de interacción para puntos de imagen
- b. Aproximación de la matriz de interacción
- c. Estabilidad del control basado en imagen
- d. Esquema de control basado en imagen binocular

**VIII. Métodos de control visual avanzado**

- a. Control visual 2.5D
- b. Control particionado XY/Z
- c. Control visual híbrido
- d. Control basado en momentos de imagen
- e. Control basado en una restricción geométrica

- f. Control basado en optimización numérica

**IX. Control visual basado en restricciones geométricas**

- a. Control basado en homografía
- b. Control basado en geometría epipolar
- c. Control basado en tensor trifocal

**X. Control visual de robots móviles**

- a. Modelo matemático de robots no holónomos
- b. Control de robots no holónomos basado en Jacobiano de imagen
- c. Controles genéricos para robots no holónomos
- d. Navegación de robots móviles basada en visión
- e. Perspectivas del control visual de robots humanoides.
- f. Control visual de vehículos aéreos.

**ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE**

Cursos presenciales.

Programación de diferentes esquemas de control en simulación.

Proyecto final integrador de la materia.

Lecturas de artículos.

Presentaciones orales.

**CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN**

Tareas: 25%

Primer examen: 20%

Segundo examen: 20%

Exposición(es): 10%

Proyecto final: 25%



## BIBLIOGRAFÍA

P. Corke. *Robotics, Vision & Control*, Springer Tracts in Advanced Robotics, 2013.

P. Corke. *Visual Control of Robots: High-Performance Visual Servoing*, free e-book, 1996.

François Chaumette, Seth Hutchinson: *Visual servo control. I. Basic approaches*. IEEE Robotics Autom. Mag. 13(4): 82-90 (2006).

François Chaumette, Seth Hutchinson: *Visual servo control. II. Advanced approaches*. IEEE Robotics Autom. Mag. 14(1): 109-118 (2007).

Khalil, H. K., & Grizzle, J. W. (2002). *Nonlinear systems (Vol. 3)*. Prentice Hall Upper Saddle River.

## SOFTWARE DE APOYO

MATLAB, Scilab, Python, Gazebo, OpenCV.

**ELEMENTO FINITO I**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16ELF1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El alumno deberá conocer los fundamentos del método, así como saber aplicar la mejor aproximación a la solución de problemas prácticos en 1D, 2D o 3D, en rangos estáticos y dinámicos. Se presenta una introducción a problemas no lineales.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Solución de la ecuación de Poisson en 1D**

- a. Elementos lineales
- b. Ecuaciones de la discretización del campo de la variable principal
- c. Solución con varios elementos
- d. Formulación matricial
- e. Elementos 1D más avanzados
- f. Formulación isoparamétrica e integración numérica
- g. Organización básica de un programa de elementos finitos
- h. Elementos de alto orden
- i. Convergencia de elementos

**II. Solución de la ecuación de Poisson en 2D**



- a. Formulación con elementos finitos. Elemento triangular de 3 nodos
- b. Formulación con elementos finitos. Elemento rectangular de 4 nodos
- c. Elementos rectangulares Lagrangianos
- d. Elementos rectangulares serendipitos
- e. Elementos triangulares de alto orden
- f. Elementos isoparamétricos bidimensionales
- g. Calculo numérico de integrales sobre elementos rectangulares
- h. Calculo numérico de integrales sobre elementos triangulares
- i. Programación
- j. Errores en la solución con elementos finitos

### **III. Simetría de revolución para la ecuación de Poisson**

- a. Teoría de sólidos de revolución
- b. Formulación con elementos finitos
- c. Elementos isoparamétricos para sólidos de revolución
- d. Programación de Sólidos de revolución

### **IV. Solución de la ecuación de Poisson en 3D**

- a. Formulación con elementos finitos. Elemento tetraédrico de 4 nodos
- b. Formulación con elementos finitos. Elementos hexaédricos
- c. Elementos isoparamétricos para sólidos
- d. Programación
- e. Errores en la solución con elementos finitos

### **V. Dinámica con elementos finitos**

- a. Solución al problema transitorio
- b. Integración en el tiempo: implícita y explícita

**VI. Problemas de convección-difusión**

- a. Bloqueo numérico de la solución
- b. Formulación con elementos finitos. Elementos más utilizados
- c. Programación

**VII. Ecuación de onda**

- a. Problema de valores y vectores propios con elementos finitos

**VIII. Conceptos básicos de elasticidad.**

- a. Problema de deformación plana
- b. Problema de tensión plana
- c. Problema de axi-simetría
- d. Problema en 3D

**IX. Conceptos básicos de no-linealidad**

- a. No linealidad geométrica
- b. No linealidad material

**X. Conceptos básicos Cálculo Exterior Discreto (DEC)**

- a. Conceptos básicos de la discretización numérica
- b. Solución de la ecuación de Polisón
- c. Solución de la Ecuación de Darcy

**ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE**

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios



## CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Dos exámenes (incluye tareas)(50%).

Un proyecto final (50%)

## BIBLIOGRAFÍA

Zienkiewicz, Taylor *El Método de los Elementos Finitos. Formulación básica y problemas Lineales. Vols. 1, 2, 3 (6a edición)*. Ed. CIMNE. 2015.

Zienkiewicz, Taylor *El Método de los Elementos Finitos. Mecánica de Sólidos y Fluidos. Dinámica y no Linealidad.* Ed. CIMNE- Mc. Graw Hill. 1994.

K.J. Bathe and E.L. Wilson *Numerical Methods in Finite Element Analysis.*, Pretence Hall Inc. Englewood Cliffs New jersey, 1977.

K.J. Bathe, *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*. K. J. Pretence Hall Inc. Englewood Cliffs New Jersey, 1982.

S. Botello, E. Oñate CALSEF 2.1. *Programa para Cálculo de Sólidos y Estructuras por el Método de los Elementos Finitos*, CIMNE 83, 1996.

S. Botello, H. Esqueda, F. Gómez, M.A. Moreles y E. Oñate. *Modulo de Aplicaciones del Método de los Elementos Finitos: MEFI*. Aula CIMNE-UGTO, Noviembre 2004.

Eugenio Oñate. *Cálculo de Sólidos y Estructuras por el Método de los Elementos Finitos. Análisis Estático Lineal*. Ed. CIMNE. 1995.

S. Botello, M.A. Moreles y E. Oñate. *Modulo de Aplicaciones del Método de los Elementos Finitos para Resolver la Ecuación de Poisson*. Monografía M-CIMAT-1., Julio 2010.

Dimitrios G. Pavlou *Essentials of the Finite Element Method. For Mechanical and Structural Engineers*. Elseiver 2015.

Rafael Herrera, Salvador Botello, Humberto Esqueda, Miguel Angel Moreles, "A geometric description of Discrete Exterior Calculus for general Triangulations" Rev. int. métodos numér. cálc. diseño ing. (2019). Vol. 35, (1), 2. ISSN: 0213-1315, ISSN: 1886-158X

H. Esqueda, R. Herrera, S. Botello and C. Valero, "Solving anisotropic Poisson problems via discrete exterior calculus", Rev. int. métodos numér. cálc. diseño ing. (2020). Vol. 36, (2), 32 URL [https://www.scipedia.com/public/Esqueda\\_et\\_al\\_2020a](https://www.scipedia.com/public/Esqueda_et_al_2020a)

**ELEMENTO FINITO II**

CICLO

**SEMESTRE 3**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16ELF2**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El alumno deberá conocer temas avanzados del método, así como saber aplicar la mejor aproximación a la solución de problemas prácticos en 1D, 2D o 3D. Se presenta una formulación para Fluidos.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos**

- a. Flujo incompresible no viscoso
- b. Flujos incompresibles (o casi incompresibles)
- c. Soluciones numéricas. Formas débiles, residuos ponderados y aproximaciones con elementos finitos

**II. Flujos laminares Newtonianos compresibles**

- a. Introducción y ecuaciones básicas
- b. Métodos numéricos para la solución de flujos Newtonianos compresibles
- c. Refinamiento de malla adaptable

**III. Flujos no Newtonianos incompresibles**



- a. Introducción y ecuaciones básicas
- b. Flujos no Newtonianos- conformado de polímeros y metales
- c. Flujos viscoelásticos

#### **IV. Superficies libres y flujos impulsados por flotación**

- a. Flujos con superficie libre
- b. Flujos libres con flotación

#### **V. Flujos turbulentos**

- a. Tratamiento de los flujos incompresibles turbulentos
- b. Flujos compresibles turbulentos
- c. Simulación de grandes vórtices

#### **VI. Flujo en medios porosos**

- a. Formulación generalizada para flujo en medios porosos
- b. Procedimientos de discretización
- c. Flujos no isotérmicos.
- d. Conexión forzada
- e. Conexión natural

#### **VII. Problemas de aguas poco profundas**

- a. Ecuaciones para aguas poco profundas
- b. Aplicaciones numéricas
- c. No linealidad material

#### **VIII. Problemas No lineales con DEC**

- a. Conceptos básicos

#### **IX. Problemas de aguas poco profundas**



- a. Ecuaciones para aguas poco profundas
- b. Aplicaciones numéricas
- c. No linealidad material

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Dos exámenes (incluye tareas)(50%)

Un proyecto final (50%)

#### BIBLIOGRAFÍA

Zienkiewicz, Taylor *El Método de los Elementos Finitos. Formulación básica y problemas Lineales. Vols. 1, 2, 3 (6a edición)*. Ed. CIMNE. 2015.

Zienkiewicz, Taylor *El Método de los Elementos Finitos. Mecánica de Sólidos y Fluidos. Dinámica y no Linealidad.* Ed. CIMNE- Mc. Graw Hill. 1994.

K.J. Bathe and E.L. Wilson *Numerical Methods in Finite Element Analysis.*, Pretence Hall Inc. Englewood Cliffs New jersey, 1977.

K.J. Bathe, *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*. K. J. Pretence Hall Inc. Englewood Cliffs New Jersey, 1982.

S. Botello, E. Oñate CALSEF 2.1. *Programa para Cálculo de Sólidos y Estructuras por el Método de los Elementos Finitos*, CIMNE 83, 1996.

S. Botello, H. Esqueda, F. Gómez, M.A. Moreles y E. Oñate. *Modulo de Aplicaciones del Método de los Elementos Finitos: MEFI*. Aula CIMNE-UGTO, Noviembre 2004.

Eugenio Oñate. *Cálculo de Sólidos y Estructuras por el Método de los Elementos Finitos. Análisis Estático Lineal*. Ed. CIMNE. 1995.

S. Botello, M.A. Moreles y E. Oñate. *Modulo de Aplicaciones del Método de los Elementos Finitos para Resolver la Ecuación de Poisson*. Monografía M-CIMAT-1., Julio 2010.

Dimitrios G. Pavlou *Essentials of the Finite Element Method. For Mechanical and Structural Engineers*. Elseiver 2015.



Rafael Herrera, Salvador Botello, Humberto Esqueda, Miguel Angel Moreles, "A *geometric description of Discrete Exterior Calculus for general Triangulations*" Rev. int. métodos numér. cálc. diseño ing. (2019). Vol. 35, (1), 2. ISSN: 0213-1315, ISSN: 1886-158X

H. Esqueda, R. Herrera, S. Botello and C. Valero, "Solving anisotropic Poisson problems via *discrete exterior calculus*", Rev. int. métodos numér. cálc. diseño ing. (2020). Vol. 36, (2), 32  
URL [https://www.scipedia.com/public/Esqueda\\_et\\_al\\_2020a](https://www.scipedia.com/public/Esqueda_et_al_2020a)

**GEOMETRÍA COMPUTACIONAL**

CICLO

**SEMESTRE 3**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16GCO1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

La geometría computacional es el área que trata sobre el diseño y análisis de algoritmos eficientes para estudiar problemas geométricos, típicamente en dimensiones bajas. Este es un curso introductorio a la geometría computacional y sus aplicaciones. Se estudiarán las estructuras de datos geométricas básicas así como los algoritmos principales para procesar estos datos.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

- I. Introducción a la geometría computacional.**
- II. Estructuras de datos básicas.**
- III. *Convex hull* en 2D.**
- IV. Intersección de segmentos de recta.**
- V. Triangulación de polígonos.**
- VI. Búsqueda e intersección.**
- VII. Localización de puntos.**
- VIII. Diagramas de Voronoi.**
- IX. Arreglos.**
- X. *Convex hull* en 3D.**
- XI. Planificación de movimientos en robótica y espacios de configuración**

**ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE**

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios





## CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas (4 tareas): 40%

Proyecto: 15%

Exámenes parciales: 15% (x3)

## BIBLIOGRAFÍA

M. de Berg, O. Cheong, M. van Kreveld, M. Overmars. *Computational Geometry: Algorithms and Applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.

S. Devadoss, J. O'Rourke. *Discrete and Computational Geometry*. Princeton University Press, 2011.

F.P. Preparata, M.I. Shamos. *Computational Geometry: An Introduction*. Springer-Verlag, 1985.

J. O'Rourke. *Computational Geometry in C*. Cambridge University Press, 1998.

**GRÁFICAS POR COMPUTADORA**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16GCC1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El objetivo de este curso es entender los métodos para generar imágenes a partir de modelos tridimensionales. Estudiaremos los métodos básicos para dibujar primitivas en un *display* (líneas, círculos, polígonos). Miraremos cómo construir modelos matemáticos de objetos en dos y tres dimensiones, cómo manipularlos para formar objetos más complicados, y las operaciones necesarias para plasmarlos en una imagen. Revisaremos también modelos de color, iluminación y el conocido algoritmo de trazado de rayos o *Raytracing*.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

- I. Pipeline de gráficas.**
- II. Introducción a programación a OpenGL con *shaders* (*Pipeline programable*).**
- III. *Hardware* de gráficos y algoritmos de *raster*.**
- IV. Transformaciones de cuerpos rígidos y coordenadas homogéneas.**
- V. Transformaciones de vista y proyecciones (perspectiva y ortográfica).**
- VI. Representación de orientaciones.**
- VII. Modelado de objetos en 3D.**
- VIII. Curvas paramétricas.**
- IX. Modelos de color.**
- X. Modelos de iluminación.**
- XI. *Raycasting* y *raytracing*.**



## XII. Introducción a la Realidad Virtual.

### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas (4 tareas): 40%

Proyecto: 20%

Exámenes parciales: 40%

### BIBLIOGRAFÍA

P. Shirley, et. al. *Fundamentals of Computer Graphics*. A.K. Peters, 2009.

J. Foley, et. al. *Computer Graphics, Principles and Practice*. Addison-Wesley Professional, 2013.

D. Shreiner et. al. *OpenGL Programming Guide: The Official Guide to Learning OpenGL, Version 4.3*. Addison-Wesley Professional, 2013.

R. Rost et. al. *OpenGL Shading Language*. Addison-Wesley Professional, 2009.

T. Akenine-Moller, et. al. *Real-Time Rendering*. A.K. Peters / CRC Press, 2008.

R. Parent. *Computer Animation. Algorithms and Techniques*. Morgan Kaufmann, 2012.

S. M. LaValle. *Virtual Reality*. Cambridge University Press, 2016.

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16INA1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El propósito de este curso es introducir los problemas básicos de inteligencia artificial así como los algoritmos usuales empleados para resolverlos.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Inteligencia artificial**

- a. Introducción
- b. Agentes inteligentes

**II. Resolución de problemas**

- a. Resolución de problemas por búsqueda
- b. Más allá de la búsqueda clásica
- c. Búsqueda con adversarios
- d. Problemas de satisfacción de restricciones

**III. Conocimiento y razonamiento.**

- a. Agentes lógicos
- b. Lógica de primer orden
- c. Inferencia en lógica de primer orden
- d. Planificación clásica
- e. Planificar y actuar en el mundo real



- f. Representación del conocimiento

#### **IV. Conocimiento incierto y razonamiento**

- a. Cuantificación de la incertidumbre
- b. Razonamiento probabilístico
- c. Razonamiento probabilístico en el tiempo
- d. Toma de decisiones simples
- e. Toma de decisiones complejas

#### **V. Aprendizaje**

- a. Aprender a partir de ejemplos
- b. Conocimiento y aprendizaje
- c. Aprendizaje de modelos probabilísticos
- d. Aprendizaje por reforzamiento

#### **VI. Inteligencia artificial y comunicación**

- a. Procesamiento de lenguaje natural
- b. Lenguaje natural para la comunicación

#### **VII. Temas selectos de inteligencia artificial**

#### **ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE**

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

#### **CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN**

Tareas: 40%

Proyecto: 30%

Exámenes parciales: 30%



## BIBLIOGRAFÍA

S. Russell and P. Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 3rd Edition, Prentice Hall, 2009.

M. Ghallab, D.S. Nau, and P. Traverso. *Automated Planning: Theory and Practice*. Elsevier, 2004.

S. Rabin, *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media, 2002.

S. Thrun, D. Fox, and W. Burgard. *Probabilistic Robotics*. The MIT Press, 2005.

R.J. Brachman. *Knowledge Representation and Reasoning*. Morgan Kaufmann, 2004.

**MÉTODOS NUMÉRICOS**

CICLO

**SEMESTRE 1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16NUM1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

Este es un curso clásico de métodos numéricos. Se cubren los temas básicos de álgebra lineal numérica y cálculo diferencial e integral numérico. Para completar la introducción al análisis numérico se presentan también algunos temas de aproximación y ecuaciones diferenciales. En los diferentes temas se buscará un balance entre la teoría detrás del método, su aplicación a problemas prácticos y su implementación computacional. Se presentarán soluciones numéricas utilizando cómputo en paralelo.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Introducción.**

- a. Preliminares.
- b. Problemas no lineales en una variable.
  - 1. Solución de ecuaciones. Bisección, método de Newton.
  - 2. Minimización de funciones.

**II. Álgebra lineal numérica.**

- a. Solución de sistemas lineales.
  - 1. Eliminación Gaussiana. Sustitución hacia atrás.
  - 2. Descomposición LU. QR, Inversa y determinante de una matriz.
  - 3. Métodos iterativos. Jacobi, Gauss-Seidel, gradiente conjugado.
  - 4. Precondicionadores de *solvers* iterativos.
- b. El problema de valores propios.
  - 1. Método de Jacobi.

2. Método de la potencia.
3. El problema generalizado de valores propios.
- c. Mínimos cuadrados.

### III. Métodos numéricos en cálculo.

- a. Interpolación.
  1. Polinomial.
  2. *Splines* cúbicos.
  3. Elementos Finitos.
- b. Integración y diferenciación.
  1. Métodos clásicos.
  2. Método de Romberg.
  3. Cuadraturas Gaussianas y polinomios ortogonales.
  4. Diferencias finitas.
- c. Problemas no lineales multivariados.
  1. Sistemas no lineales. Métodos cuasi-Newton.
  2. Minimización de funciones.

### IV. Ecuaciones Diferenciales.

- a. Problemas con valores iniciales.
  1. Método de Euler.
  2. Métodos Runge-Kutta. Otros métodos.
- b. Problemas con valores a la frontera
  1. Diferencias finitas.
  2. Elemento finito.
  3. Problemas de advección-difusión.
  4. Problema de valores propios.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales





## Resolución de Ejercicios

### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Exámenes (2) 50%

Tareas 50% (para obtener crédito, las tareas deben entregarse a tiempo)

### BIBLIOGRAFÍA

J. Stoer, R. Bulirsch. *Introduction to Numerical Analysis*, 3rd ed; Springer-Verlag; New York, 2002.

J. E. Dennis, Jr., R.B. Schnabel. *Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations*; SIAM; Philadelphia, 1996.

D. Greenspan & V. Casulli. *Numerical Analysis for Applied Mathematics, Science, and Engineering*; Addison-Wesley; RedwoodCity, 1988.

J.H. Mathews. *Numerical Methods for Mathematics, Science and Engineering*. Prentice Hall; New Jersey, 1992.

J.L.I. Morris. *Computational Methods in Elementary Numerical Analysis*; John Wiley & Sons. Chichester, 1983.

W.H. Press et al. *Numerical Recipes in C* 2nd ed; Cambridge University Press; Cambridge, 1992.

A.Q. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri. *Numerical Mathematics*; Springer; New York, 2000.

**MÉTODOS NUMÉRICOS EN PARALELO**

CICLO

**SEMESTRE 3**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16MNP1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

Esta materia está orientada a aprender a resolver sistemas de ecuaciones que tienen matrices dispersas. Este tipo de sistemas ocurren al resolver problemas de grafos, redes, circuitos eléctricos, o modelación de ecuaciones diferenciales parciales con métodos como elemento finito, volumen finito o análisis iso-geométrico. Dado que estos sistemas de ecuaciones suelen ser muy grandes se aplican técnicas de cómputo paralelo para resolverlos más rápidamente. Se hará una introducción a la paralelización con OpenMP (computadoras multi-core) y MPI (*clusters* de computadoras). Se utilizarán los sistemas de super-cómputo del CIMAT para realizar las tareas y proyectos.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Optimización de código**

- a. Arquitectura de procesadores modernos
- b. Programación eficiente aprovechando el caché
- c. Organización de la memoria en C/C++
- d. Directivas de compilación para optimización
- e. *Branch prediction*

**II. Matrices dispersas/ralas**

- a. Tipos de matrices ralas
- b. Costos de almacenamiento y operación
- c. Sistemas de ecuaciones con matrices ralas
- d. Estructura de matrices ralas al modelar ecuaciones diferenciales parciales

- e. *Compressed Row/Column Storage*
- f. Almacenamiento de matrices ralas en formato MatLab
- g. Multiplicación matriz-vector con matrices ralas

### III. Gradiente conjugado

- a. Algoritmo de gradiente conjugado
- b. Reordenamiento para optimizar gradiente conjugado.
- c. Número de condición
- d. Precondicionamiento
- e. Precondicionador Jacobi

### IV. Paralelización con OpenMP

- a. Operaciones matemáticas en paralelo
- b. Procesadores *multi-core* con memoria compartida
- c. Uso eficiente del caché
- d. Programación con *threads*
- e. El esquema OpenMP
- f. "Hola mundo" con OpenMP
- g. Reducciones
- h. Paralelización de secciones de código
- i. Variables *private* y *shared*
- j. Modificación del *scheduling*
- k. Paralelización de la multiplicación matriz-vector
- l. Gradiente conjugado con OpenMP

### V. Factorizaciones Cholesky y LU

- a. Factorización Cholesky simbólica
- b. Paralelización con OpenMP de las factorizaciones Cholesky y LU
- c. Paralelización de *solver* para matrices triangulares
- d. Reordenamiento de renglones y columnas
- e. Matrices de permutación
- f. Matrices ralas como grafos no dirigidos
- g. Algoritmo de grado mínimo
- h. Algoritmo de bisección anidada (librería METIS)

### VI. Gradiente biconjugado

- a. Algoritmo de gradiente biconjugado
- b. Paralelización con OpenMP

- c. Precondicionador Jacobi

**VII. Precondicionadores con factorización incompleta**

- a. Factorización Cholesky incompleta
- b. Gradiente conjugado con preconditionador Cholesky incompleto
- c. Factorización LU incompleta
- d. Gradiente biconjugado con preconditionador LU incompleto

**VIII. Precondicionadores con inversa aproximada**

- a. Inversa aproximada rala
- b. Inversa aproximada rala factorizada
- c. Gradiente conjugado con preconditionador inversa aproximada
- d. Gradiente biconjugado con preconditionador inversa aproximada

**IX. Paralelización con MPI (Message Passing Interface)**

- a. *Clusters Beowulf*
- b. Paralelización con memoria distribuida
- c. Descripción de la librería MPI
- d. "Hola mundo" con MPI
- e. Comunicación con bloqueo
- f. Comunicación sin bloqueo
- g. Como correr el programa en un *cluster*
- h. Depuración de programas con MPI
- i. Gradiente conjugado con MPI

**X. Descomposición de dominios**

- a. Descomposición de dominios
- b. Particionamiento de grafos/mallas
- c. Librería METIS para particionar
- d. Implementación con MPI del método de Schur
- e. Solución de ecuaciones diferenciales con descomposición de dominios
- f. Método alternante de Schwarz
- g. Implementación con MPI del método alternante de Schwarz



## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

## CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

70% Tareas (aproximadamente 12)

30% Proyecto

## BIBLIOGRAFÍA

### *Libros (disponibles en biblioteca del CIMAT)*

K. A. Gallivan, M. T. Heath, E. Ng, J. M. Ortega, B. W. Peyton, R. J. Plemmons, C. H. Romine, A. H. Sameh, R. G. Voigt, *Parallel Algorithms for Matrix Computations*, SIAM, 1990.

Y. Saad. *Iterative Methods for Sparse Linear Systems*. SIAM, 2003.

G. H. Golub, C. F. Van Loan. *Matrix Computations*. Third edition. The Johns Hopkins University Press, 1996.

A. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri. *Numerical Mathematics*. Springer, 2000.

O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, J.Z. Zhu, *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. Sixth edition, 2005.

J. Nocedal, S. J. Wright. *Numerical Optimization*, Springer, 2006.

### *Libros (descargables de la web)*

Message Passing Interface Forum. *MPI: A Message-Passing Interface Standard, Version 2.1*. University of Tennessee, 2008.

U. Drepper. *What Every Programmer Should Know About Memory*. Red Hat, Inc. 2007.

A. Fog. *Optimizing software in C++*. An optimization guide for Windows, Linux and Mac platforms. Copenhagen University College of Engineering. 2011.

H. Prokop. *Cache-Oblivious Algorithms*. Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology. 1999.

### *Otros libros*

B. Chapman, G. Jost, R. van der Pas. *Using OpenMP: Portable Shared Memory Parallel*



Programming. The MIT Press, 2008.

B. F. Smith, P. E. Bjorstad, W. D. Gropp. Domain Decomposition: Parallel Multilevel Methods for Elliptic Partial Differential Equations. Cambridge University Press, 1996.

A. Toselli, O. Widlund. Domain Decomposition Methods - Algorithms and Theory. Springer, 2005.

S. Pissanetzky. Sparse Matrix Technology. Academic Press, 1984.

### *Papers*

E. Chow, Y. Saad. Approximate Inverse Preconditioners via Sparse-Sparse Iterations. SIAM Journal on Scientific Computing. Vol. 19-3, pp. 995-1023. 1998

E. Chow. Parallel implementation and practical use of sparse approximate inverse preconditioners with a priori sparsity patterns. International Journal of High Performance Computing, Vol 15. pp 56-74, 2001.

A. George, J. W. H. Liu. Computer solution of large sparse positive definite systems. Prentice-Hall, 1981.

A. George, J. W. H. Liu. The evolution of the minimum degree ordering algorithm. SIAM Review Vol 31-1, pp 1-19, 1989.

M T. Heath, E. Ng, B. W. Peyton. Parallel Algorithms for Sparse Linear Systems. SIAM Review, Vol. 33, No. 3, pp. 420-460, 1991.

M. Benzi. Preconditioning Techniques for Large Linear Systems: A Survey. Journal of Computational Physics 182, pp418-477. Elsevier Science, 2002

W. A. Wulf , S. A. Mckee. Hitting the Memory Wall: Implications of the Obvious. Computer Architecture News, 23(1):20-24, March 1995.

**MODELACIÓN NUMÉRICA**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16MOD1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El curso es una introducción a la simulación numérica de sistemas físicos modelados con ecuaciones en derivadas parciales (EDP). Además de la derivación de los modelos, se presentan elementos del análisis de las EDP correspondientes.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**Tema 1: Ecuaciones de primer orden**

- Ecuaciones lineales
- Ecuaciones cuasi-lineales
- Leyes de conservación no lineales
- Aplicaciones y métodos numéricos

**Tema 2: Principios de conservación y leyes constitutivas**

- Balance de masa y calor en 1D
- Relaciones constitutivas en 1D
- Teorema del transporte
- Momento
- Balance de Energía

**Tema 3: La ecuación de Poisson**

- Flujo potencial



- El principio del máximo
- El Problema de Dirichlet
- Solución por volumen finito

#### **Tema 4: La ecuación de difusión**

- La ecuación del calor
- El principio del máximo
- Unicidad y regularidad
- Métodos numéricos

#### **Tema 5: La ecuación de onda**

- Acústica. Dinámica de gases
- La cuerda vibrante
- Solución numérica de PBF
- Ondas no lineales
- Las ecuaciones de Maxwell

#### **ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE**

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

#### **CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN**

Exámenes (3) 60%

Tareas 40%

#### **BIBLIOGRAFÍA**

J. M. Cooper: Introduction to Partial Differential Equations with MatLab; Birkhauser; Boston. (2000)

R.M.M. Mattheij, S.W. Rienstra, J.H.M ten Thije Boonkkamp: Partial Differential Equations; Modeling, Analysis, Computation; SIAM; Philadelphia. (2005)

J. Ockendon, S. Howison, A. Lacey, A. Movchan: Applied Partial Differential Equations; Oxford University Press. (1999)



**MODELOS GRÁFICOS PROBABILÍSTICOS**

CICLO

**SEMESTRE 3**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16MGP1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

Esta clase dará a los estudiantes las bases necesarias para plantear representaciones probabilísticas a través de modelos gráficos, redes Bayesianas por supuesto pero más allá de ellos, modelos gráficos no-dirigidos, redes Gaussianas, etc. Se presentarán técnicas de inferencia sobre los modelos gráficos así como técnicas de aprendizaje para optimizar los parámetros de los modelos considerados. Aplicaciones estarán presentadas a lo largo de toda la clase.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Introducción y repastos de probabilidades y grafos**

**II. Representaciones probabilísticas**

- a. Redes Bayesianas
- b. Modelos gráficos no-dirigidos
- c. Modelos probabilísticos locales
- d. Representaciones por plantillas
- e. Redes Gaussianas

**III. Técnicas de inferencia**

- a. Eliminación de variables
- b. Árboles de cliques
- c. Inferencia por optimización
- d. Inferencia aproximada basada en partículas
- e. Inferencia por máximo a posteriori

- f. Inferencia en redes híbridas
- g. Inferencia en modelos temporales

#### IV. Aprendizaje

- a. Consideraciones generales
- b. Estimación de parámetros
- c. Aprendizaje de la estructura en redes Bayesianas
- d. Datos parcialmente observados
- e. Aprendizaje de modelos no-dirigidos

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 50%

Proyecto: 20%

Exámenes parciales: 30%

#### BIBLIOGRAFÍA

D. Koller and N. Friedman. *Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques*. The MIT Press, 2009.

M. Jordan. *Graphical models*. *Statistical Science: Special Issue on Bayesian Statistics*, vol. 19, no. 1, pp. 140-155, Feb. 2004.

C. Bishop. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Chapter 8. Graphical Models. pp. 359–422. Springer, 2006.

**OPTIMIZACIÓN I**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16OPT1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

Este curso da a los alumnos fundamentos sólidos de optimización sin restricciones, con un panorama completo de los diferentes algoritmos existentes para este tipo de problemas.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Introducción**

- a. Formulación matemática
- b. Ejemplo: Un problema de transporte
- c. Tipos de problemas de optimización
- d. Algoritmos de optimización
- e. Convexidad

**II. Fundamentos de optimización sin restricciones**

- a. ¿Qué es una solución?
- b. Algoritmos (una visión preliminar)
  1. Búsqueda en línea
  2. Métodos de región de confianza

**III. Métodos de búsqueda en línea**

- a. Tamaño de paso

- b. Algoritmos para selección del tamaño de paso

**IV. Métodos de región de confianza**

- a. Punto de Cauchy

**V. Métodos de gradiente conjugado**

- a. Método de gradiente conjugado lineal
- b. Gradiente conjugado no lineal
- c. Gradiente bi-conjugado

**VI. Introducción al cálculo variacional**

- a. Problema sin restricciones

**VII. Cálculo numérico de derivadas**

- a. Aproximación por diferencias finitas

**VIII. Métodos de Newton prácticos**

- a. Newton con pasos inexactos
- b. Métodos de Newton con búsqueda en línea
- c. Técnicas de región de confianza
- d. Técnicas de modificación del Hessiano
- e. Métodos de Newton de región de confianza

**IX. Métodos Quasi-Newton**

- a. El método Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS)

**X. Mínimos cuadrados no lineales**

- a. Método Gauss-Newton
- b. Método Levenberg-Marquardt

**XI. Métodos de penalización para problemas no lineales con restricciones**



- a. Penalización cuadrática

## **XII. Algoritmos sin derivadas**

- a. Descenso de simplejo (método de Nelder-Mead)
- b. Recosido simulado
- c. Algoritmos bio-inspirados

### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas 30%

Exámenes 60%

Proyecto 10%

### BIBLIOGRAFÍA

J. Nocedal and S. J. Wright. *Numerical Optimization*, Springer Series in Operation Research, 2000.

C. T. Kelley. *Iterative Methods for Optimization*, SIAM Frontiers in Applied Mathematics, no 18.  
<http://www.siam.org/books/textbooks/download.php>

M. Rivera. *Notas del Curso*, en <http://www.cimat.mx/~mrivera/optimizacion.html>

**OPTIMIZACIÓN II**

CICLO

**SEMESTRE 3**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16OPT2**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

Este curso profundiza el estudio de los métodos de optimización, abordando en particular los problemas de optimización con restricciones en los contextos de programación lineal y cuadrática. Finalmente, se abordan también los problemas de optimización combinatoria.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**OPTIMIZACIÓN CON RESTRICCIONES**

**I. Teoría de la optimización con restricciones**

- a. Condiciones de optimalidad de primer orden
- b. Condiciones de optimalidad de segundo orden

**II. Programación lineal: el método simplex**

- a. Optimalidad y dualidad
- b. Geometría de conjuntos factibles
- c. El método simplex

**III. Programación lineal: métodos de punto interior**

- a. Métodos primal-dual
- b. Seguimiento de trayectorias y reducción del potencial

**IV. Fundamentos de algoritmos para optimización no lineal con restricciones**

- a. Categorías de algoritmos
- b. Eliminación de variables
- c. Funciones de mérito

**V. Programación cuadrática**

- a. Restricciones de igualdad
- b. Solución del problema de Karush–Kuhn–Tucker (KKT)
- c. Restricciones de desigualdad
- d. Conjuntos activos
- e. Proyección de gradiente
- f. Métodos de punto interior

**VI. Métodos para manejo de restricciones**

- a. Penalización
- b. Penalización no-suave
- c. Barrera
- d. Lagrangiano aumentado

**VII. Programación cuadrática secuencial**

- a. Métodos punto interior
- b. Implementaciones numéricas
- c. Métodos de región de confianza
- d. Gradiente proyectado no-lineal

**VIII. Métodos de punto Interior para programación no-lineal**

- a. Interpretación
- b. Algoritmos primal, primal-dual, barrera y aproximaciones Quasi-Newton

OPTIMIZACIÓN COMBINATORIA



**IX. El algoritmo primal-dual lineal**

- a. Flujo máximo
- b. Trayectoria más corta
- c. Flujo de mínimo costo

**X. Apareamiento (*Matching*)**

- a. El problema de apareamiento
- b. Apareamiento bipartita y redes de flujo
- c. Apareamiento no bipartita

**ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE**

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

**CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN**

Tareas: 50%

Exámenes (2): 40%

Presentación Final: 10%.

**BIBLIOGRAFÍA**

J. Nocedal and S. J. Wright, *Numerical Optimization*, Springer Series in Operation Research, 2000.

C. T. Kelley, *Iterative Methods for Optimization*, SIAM Frontiers in Applied Mathematics, no 18.  
<http://www.siam.org/books/textbooks/download.php>

M. Rivera, *Notas del Curso*, en <http://www.cimat.mx/~mrivera/optimizacion.html>



**OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16OPE1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

En esta asignatura se introducen y analizan diversos métodos de optimización estocásticos, abarcando desde algoritmos de búsqueda local simple hasta metaheurísticas de trayectoria y poblacionales. Se analizan los fundamentos de las distintas metaheurísticas y se llevan a la práctica a través de la resolución de problemas complejos que no pueden ser abordados con métodos exactos. Se hace especial énfasis en los esquemas evolutivos.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**Bloque 1: Metaheurísticas**

Tema 1: Introducción

- Conceptos básicos de optimización
- Algoritmos exactos
  - Ramificación y Acotación
  - Programación Dinámica
- Algoritmos aproximados
  - Heurísticas
  - Metaheurísticas
- Clasificaciones de metaheurísticas
- Evaluación de rendimiento
  - Exactos vs. aproximados
  - Tiempos vs. evaluaciones
  - Distribuciones del tiempo de búsqueda

- Test estadísticos
- Otros mecanismos de análisis de rendimiento

#### Tema 2: Metaheurísticas de trayectoria

- Búsquedas locales
- Mecanismos de evitación de óptimos locales
- Enfriamiento simulado
- Búsqueda tabú
- Búsqueda en entorno variable
- Métodos basados en trayectorias múltiples
- Búsqueda local guiada
- Otras metaheurísticas de trayectoria

### **Bloque 2: Computación evolutiva**

#### Tema 3: Algoritmos evolutivos

- Historia
- Algoritmos genéticos
- Programación evolutiva
- Estrategias evolutivas
- Relación con otras metaheurísticas poblacionales.
- Diseño de algoritmos evolutivos

#### Tema 4: Operadores en algoritmos evolutivos

- Selección de padres
- Operadores de reproducción
  - Mutación
  - Cruce
- Reemplazamiento
- Esquemas de control y afinamiento de parámetros
- Integración con metaheurísticas de trayectorias: algoritmos meméticos

#### Tema 5: Diversidad y algoritmos de nicho

- Exploración e intensificación
- Gestión de la diversidad
- Optimización multi-modal

#### Tema 6: Algoritmos de estimación de distribuciones

- Principios fundamentales
- Inicio: *Population-Based Incremental Learning* (PBIL) y *Boltzmann estimation distribution algorithm*
- Discretos: *Bivariate Marginal Distribution Algorithm* (BMDA) y *dependence trees* de Chow-Liu
- Continuos: *Estimation of Multivariate Normal distribution Algorithm* (EMNA).

#### Tema 7: Evolución diferencial

- Conceptos básicos
- Estrategias de generación de hijos
- Esquemas adaptativos.

#### Tema 8: Otros conceptos

- Algoritmos evolutivos multi-objetivo
- Algoritmos evolutivos paralelos.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

Desarrollo de software de cómputo matemático

Lectura de publicaciones recientes

Desarrollo de un proyecto

Preparación de presentaciones

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas Semanales (35%)



Tareas Mensuales (35%)  
Proyecto (25%)  
Presentación de proyecto (5%)

#### BIBLIOGRAFÍA

- El-Ghazali Talbi. *Metaheuristics: From Design to Implementation*, Wiley, 2009.
- J. Dréo, A. Pétrowski, P. Siarry, E. Taillard. *Metaheuristics for Hard Optimization*, Springer, 2006.
- A. E. Eiben, J. E. Smith. *Introduction to Evolutionary Computing*, Springer, 2003.
- M. Črepinsêk, S. Liu, M. Mernik. *Exploration and Exploitation in Evolutionary Algorithms: A Survey*, *ACM Computing Surveys*, 45 (3), 2013.
- F. J. Lobo, C. F. Lima, Z. Michalewicz. *Parameter Setting in Evolutionary Algorithms*, Springer, 2007.
- P. Larrañaga, J. A. Lozano. *Estimation of Distribution Algorithms*, Springer, 2002.
- K. Price, R. Storn, J. Lampinen. *Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization*, Springer, 2005.

**PROCESAMIENTO DE SEÑALES I**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16SIG1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El objetivo de este curso es el de proporcionar al estudiante tanto las bases teóricas como las herramientas computacionales fundamentales para el procesamiento digital de imágenes. Además de las exposiciones teóricas, el estudiante se familiarizará con herramientas computacionales existentes para el procesamiento de señales.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Introducción**

- a. Procesamiento señales de audio
- b. Procesamiento de imágenes
- c. Señales armónicas
- d. Teorema del muestreo
- e. Cuantización
- f. Conversión digital a analógica

**II. Sistemas lineales**

- a. Operadores lineales
- b. Invariancia bajo translación
- c. Sistemas de respuesta finita
- d. Sistemas de respuesta infinita

### III. Transformada de Fourier

- a. Exponenciales complejas y sistemas lineales
- b. Transformada de Fourier. Propiedades
- c. Transformada discreta y transformada rápida de Fourier
- d. Transformada de Fourier local y filtros de cuadratura

### IV. Procesamiento de Imágenes con filtros lineales

- a. Transformaciones puntuales
  - a. Operaciones aritméticas
  - b. Funciones de transferencia
  - c. Normalización del rango dinámico
- b. Suavizadores
- c. Convolución normalizada
- d. Convolución lógica y morfología matemática
- e. Filtros Separables
- f. Filtros direccionales
- g. Derivadas Gaussianas
- h. Espacio de escalas y pirámides de proceso
- i. Detectores de bordes
- j. Patrones de franjas y fase local
- k. Convolución lógica y morfología matemática

### V. Sensado comprimido

- a. Representación rala de señales
- b. Planteamiento del problema
- c. Diccionario de Fourier
- d. Diccionario wavelet

## VI. Regularización y modelos de partículas y resortes (Optativo)

- a. Resortes L2 y funcionales cuadráticas
- b. Algoritmos para minimizar funcionales cuadráticas:
  - Descenso de gradiente
  - Gauss-Seidel
  - Descenso Newtoniano
  - Gradiente conjugado
- c. Difusión: isotrópica y anisotrópica
- d. Resortes L1
- e. Partículas con estado complejo y filtros de cuadratura
- f. Filtros adaptables
- g. Resortes L0 y modelo de Ising
- h. Recocido simulado y algoritmo *Iterated Conditional Modes* (ICM)

### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

- Tareas cada clase, de las cuales deberá entregarse al menos el 90%. Ponderación: 50%
- Una tarea (proyecto) especial: 20%
- Exámenes (parciales y final): 30%

### BIBLIOGRAFÍA

- B. Jahne. *Digital image processing*. SpringerVerlag, 1991.
- A. Oppenheim y R.W. Schaffer. *Discrete-time signal processing*. Prentice-Hall, 1989.
- R.N. Bracewell. *The Fourier transform and its applications*. McGraw-Hill, 1978.
- R.C. Gonzales y P. Wink. *Digital image processing*. Addison Wesley.

**PROCESAMIENTO DE SEÑALES II**

CICLO

**SEMESTRE 3**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16SIG2**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El objetivo de este curso es estudiar unas técnicas avanzadas para el procesamiento de señales discretas en una y dos dimensiones.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. La transformada Z**

- a. Transformadas directa e inversa
- b. Función de sistema
- c. Teoremas y propiedades
- d. Transformada en Z en 2 dimensiones

**II. Técnicas de diseño de filtros digitales**

- a. Diseño de filtros con Respuesta al Impulso Infinita (RII) a partir de filtros analógicos
- b. Ejemplos de transformación analógico-digital
- c. Técnicas computacionales para diseño de filtros RII
- d. Filtros digitales con Respuesta al Impulso Finita (RIF)
- e. Diseño de filtros RIF usando ventanas
- f. Técnicas computacionales para diseño de filtros RIF
- g. Comparación entre diseños RII y RIF

**III. Transformada discreta de Hilbert**



- a. Condiciones suficientes para secuencias causales
- b. Condición de fase mínima
- c. Transformada de Hilbert y transformada discreta de Fourier
- d. Transformada de Hilbert para secuencias complejas

#### **IV. Señales aleatorias**

- a. Procesos aleatorios en tiempo discreto
- b. Promedios
- c. Representaciones espectrales de señales con energía infinita
- d. Sistemas lineales y señales aleatorias

#### **V. Proceso homomórfico de señales**

- a. Superposición generalizada
- b. Sistemas homomórficos multiplicativos
- c. Proceso homomórficos de imágenes
- d. Sistemas homomórficos para convolución
- e. Propiedades del Cepstrum complejo
- f. Implementaciones
- g. Ejemplos de aplicaciones

#### **VI. Estimación del espectro de potencia**

- a. Introducción a la teoría de estimación
- b. Estimadores de auto-covarianza
- c. Periodogramas y estimadores del espectro de potencia
- d. Estimadores suavizados
- e. Estimadores de la covarianza cruzada y el espectro cruzado
- f. Transformada rápida de Fourier y estimación espectral
- g. Ejemplos

#### **VII. Reconstrucción a partir de proyecciones**

- a. Series focales



- b. Reconstrucción espacial
- c. Reconstrucción por filtrado inverso
- d. Microscopía de barrido confocal
- e. Reconstrucción de imágenes tomográficas
- f. Transformada de radón y teorema de la rebanada
- g. Retroproyección filtrada
- h. Reconstrucción algebraica

#### **VIII. Proceso de secuencias de imágenes**

- a. Movimiento en el dominio de Fourier
- b. Filtrado de velocidades: filtros de proyección y filtros de Gabor
- c. Movimiento en una dimensión: método tensorial; filtros de cuadratura; métodos de fase
- d. Movimiento en dos dimensiones: filtros de cuadratura; métodos sensoriales

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

- Tareas cada clase: 50%
- Una tarea (proyecto) especial: 20%
- Exámenes (parciales y final): 30%

#### BIBLIOGRAFÍA

J.G. Proakis and D.G. Manolakis. *Digital Signal Processing*. Prentice Hall, 2006.

A.V. Oppenheim, R. W. Schaffer. *Discrete-time signal processing*. Prentice Hall, 1999, 2nd edition.

S. Mitra. *Digital Signal Processing: a Computer-Based Approach*. McGraw-Hill Education, 4th edition, 2010.

**PROGRAMACIÓN DE REDES DE COMUNICACIÓN**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16RED1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El curso ofrece una introducción a las redes de computadora y un estudio detallado de la programación de redes y protocolos de comunicación más importantes del Internet (TCP y UDP). Se hace énfasis en técnicas avanzadas de programación en C/C++ tales como comunicación entre procesos, señales, memoria compartida, y entrada/salida multiplexada, útiles para el diseño y desarrollo de programas distribuidos (comunicación de procesos) sobre el Internet.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Introducción a las redes de computadoras**

- a. Modelo de referencia OSI
- b. Modelo de referencia TCP/IP

**II. Tecnologías de redes de computadoras**

- a. *Ethernet*
- b. *Token Ring*
- c. *Fiber Distributed Data Interface (FDDI)*
- d. Tecnologías WAN (ISDN, DSL, T1, T3)
- e. Redes inalámbricas

**III. Capa de la red IP**

- a. Enrutamiento
- b. *Classless InterDomain Routing (CIDR)*
- c. Protocolo de Control ICP



#### IV. Capa de transporte TCP/IP

- a. Protocolo TCP/IP
- b. Protocolo UDP

#### V. Programación de sockets

- a. Sockets TCP
  - 1. Estructuras de direccionamiento
  - 2. Proceso de conexión
  - 3. Lectura y escritura (L/E) de *sockets*
  - 4. Servidores concurrentes
  - 5. L/E multiplexada
  - 6. L/E asíncrona
- b. Sockets UDP
- c. Protocolo *Domain Name Server* (DNS)
- d. Comunicación multipunto

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

2 exámenes 35%

Tareas 30%

Proyecto Final 35%

#### BIBLIOGRAFÍA

R. Stevens. *Unix Network Programming*. Vol. 1 Prentice-Hall, 1998.

A. Tenenbaum. *Computer Networks*. Prentice-Hall, 3rd. Ed 1996.

W. Gay. *Advanced Unix Programming*. 2000 SAMS.

D. Bertsekas y R. Gallager. *Data Networks*. 2nd Ed., Prentice-Hall 1992.

R. Stevens y G. Wright. *TCP/IP Illustrated 3 Volume Set*. Addison Wesley Professional, 1st edition (January 15, 2002).

**PROGRAMACIÓN Y ALGORITMOS I**

CICLO

**SEMESTRE 1**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16PRG1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El curso tiene como objetivo dar a los estudiantes un *background* sólido en programación, y en particular en programación en C y C++.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**1. Introducción**

Estructura y sintaxis de un programa en C; Archivos de cabecera; Palabras reservadas; Tipos de datos; Variables, declaración; Alcance de las variables, locales y globales; Tipos de expresiones. *Lvalue*, *rvalue*; Operadores aritméticos, lógicos, relacionales y misceláneos; *printf* y *scanf*; Compilación; Redirección de la entrada y salida estándar; Errores comunes; Tiempo de compilación y tiempo de ejecución; *argv* y *argc*.

Condiciones; *if*, *else*; *for*, *do while*; *break* y *continue*; *while*.

**2. Funciones**

Declaración y definición de funciones; Partes de una función; Paso de argumentos por copia; Archivos cabecera propios; Compilación con varios archivos de declaración y definición de funciones.

**3. Memoria y arreglos**

*Heap*, *stack*, *code*, *globals*; Notas sobre eficiencia; Arreglos; Direcciones de memoria; Arreglos en funciones; Arreglos en ciclos; Arreglos multidimensionales.

**4. Lectura y escritura de archivos**

Apertura y modos de apertura; Lectura; Escritura; Archivos binarios.

## 5. Apuntadores y memoria dinámica

Apuntadores; Operadores \*, & y []; Apuntador *NULL*; Memoria dinámica; *malloc* y *free*; Arreglos con memoria dinámica; Aritmética de apuntadores; Apuntadores y archivos de texto.

## 6. Cadenas de caracteres

Caracteres especiales y secuencias de escape; Manejo de strings; *string.h*.

## 7. Estructuras, uniones

Tipos *enum*; *typedef struct*; memoria en la estructura; Funciones que reciben y devuelven estructuras; *typedef*; Estructuras y apuntadores; Aritmética de apuntadores en estructuras; *union*; estructuras y uniones; Arreglos de estructuras.

## 8. Clases de almacenamiento

*auto*, *register*, *static*, *extern*.

## 9. Apuntadores a funciones

Sintaxis; Funciones que reciben y devuelven apuntadores a funciones; *typedef*.

## 10. Funciones con número variable de argumentos

*va\_list*; *va\_start*, *va\_end*.

## 11. Operaciones con bits

Operadores; Generadores de pseudo-aleatorios.

## 12. Preprocesador

Macros; El preprocesador de C; directivas en gcc; Macros predefinidas; Concatenación; Definición condicional de macros; Compilación condicional.

## 13. Algoritmos y complejidad

Invariante de ciclo; Orden; *Merge Sort* (recursión); *Insertion sort*.

## 14. Estructuras de datos y recursividad

Listas ligadas; Listas doblemente ligadas; Algoritmos recursivos para (manejo de memoria en) listas ligadas; Algoritmo de Shunting-Yard; Árboles binarios.

## 15. Introducción a la programación orientada a objetos

Conceptos OOP; Objeto; Abstracción; Encapsulamiento; Herencia; Polimorfismo; Sobrecarga de funciones y operadores; Compilación con g++; Tipos de datos; namespace.

## 16. Clases

*class*; Datos y funciones miembro; Constructor; Modificadores de acceso; Inicializaciones; Sobrecarga del constructor; Constructor de copia; Destructor; Funciones *friend*; Funciones *inline*; Apuntador *this*; Miembros *static*.

### **17. Herencia**

Clases base y heredada.

### **18. Sobrecarga de funciones y operadores**

Sobrecarga de funciones; Sobrecarga de operadores; Operadores sobrecargables.

### **19. Polimorfismo, Abstracción, Encapsulamiento, Interfaces**

Polimorfismo de funciones en clases derivadas; Funciones virtuales.

Ejemplos de abstracción mediante etiquetas de acceso.

Ejemplos de encapsulamiento.

Clases abstractas; Funciones puramente virtuales.

### **20. Temas misceláneos**

*Makefiles*; *Multithreading*.

## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Desarrollo de proyectos

Resolución de ejercicios

Desarrollo de software

Preparación de presentaciones

Desarrollo de informes

Lectura de publicaciones especializadas

## CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

40% Tareas.

30% Proyectos (10% el primero, 20% el final).

30% Exámenes.



## BIBLIOGRAFÍA

- R. Sedgewick, *Algorithms in C++*, Addison Wesley, 1998.
- B. Preiss, *Data Structures and Algorithms with Object Oriented Design Patterns in C++*, Wiley, 1998. [<http://www.brpreiss.com/>]
- C. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest and C. Stein, *Introduction to Algorithms*, MIT Press, 3rd edition, 2009.
- J. Kleinberg and E.Tardos, *Algorithm Design*, Pearson, 2005.
- D.Knuth, *The Art of Computer Programming, Vol.1 Fundamental Algorithms, Vol.3 Sorting and Searching*, Addison-Wesley, 3rd edition, 2011.
- B. Kernighan and D. Ritchie, *The C programming language*, Prentice-Hall, 1988.
- D. Goldberg. What every computer scientist should know about floating-point arithmetic. *ACM Computing Surveys (CSUR)* 23.1 (1991): 5-48.
- U. Drepper. *What every programmer should know about memory*. Red Hat, Inc 11 (2007): 2007.
- M. Weis, *Efficient C Programming: A practical approach*, Prentice Hall, 1994.
- J. Pitt-Francis and J. Whiteley, *Guide to scientific computing in C++*, Springer Science & Business Media, 2012.



**PROGRAMACIÓN Y ALGORITMOS II**

CICLO

**SEMESTRE 3**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16PRG2**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

Esta materia trata problemas de algoritmia avanzada para alcanzar altos niveles de eficiencia en programación. Toma como soporte educativo principal la base de datos de problemas de tipo ACM, con el fin de que el estudiante pueda rápidamente identificar un tipo de problema computacional así como programar una solución eficiente en tiempo y memoria.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Introducción: *tips* generales en concursos de tipo ACM**

**II. Estructuras de datos avanzadas**

- a. Repaso: estructuras de datos lineares. Arreglos estáticos, dinámicos; listas ligadas; pilas; colas; arreglos de bits; `std::vector`, `std::deque`, `std::list`, `std::stack`; `std::queue`; `std::bitset`
- b. Estructuras de datos no-lineares:
  1. Árboles binarios balanceados: árboles AVLs, árboles RB; `std::map` y `std::set`
  2. B-trees
  3. Colas de prioridad y montículos. `std::priority_queue`
  4. Montículos binomiales; montículos de Fibonacci
  5. Tablas de hash. `std::unordered_map`
- c. Estructuras de datos para grafos
- d. Estructuras de datos para conjuntos disjuntos

- e. Árbol de segmento
  - f. *Quadtrees* y *Octrees*
  - g. Árbol de Fenwick
  - h. Estructuras dedicadas a cadenas de caracteres: tries
  - i. Estructuras de datos persistentes
- III. Paradigmas de resolución de problemas.**
- a. Búsqueda exhaustiva.
  - b. Divide y vencerás
  - c. Programación dinámica
- IV. Algoritmos sobre grafos**
- a. Recorridos de grafos
  - b. Árboles generadores mínimos
  - c. Caminos más cortos, nodo fuente único
  - d. Caminos más cortos, nodos fuentes múltiples
  - e. Flujos máximos
  - f. Casos en grafos particulares
- V. Resolución de problemas matemáticos**
- a. Manejo de los enteros grandes
  - b. Combinatoria
  - c. Problemas relacionados a la teoría de números
  - d. Búsqueda de ciclos
  - e. Teoría de juegos
  - f. Potencias de matrices
- VI. Procesamiento de cadenas**
- a. Procesamiento clásicos
  - b. Emparejamiento de cadenas
  - c. Programación dinámica para el procesamiento de cadenas
  - d. Manejo de los tries (ver II.H)
- VII. Geometría computacional**
- a. Representación de objetos geométricos
  - b. Representación de polígonos



c. Algoritmos involucrando polígonos

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Diseño de algoritmos para la resolución de problemas

Programación de esquemas para la resolución problemas

Uso de bases de datos de problemas

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Exámenes parciales: 40%

Tareas: 60 %

BIBLIOGRAFÍA

S. Halim and F. Halim. *Competitive Programming*. <http://cpbook.net/>

T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest, C. Stein. *Introduction to Algorithms (3rd ed.)*. MIT Press and McGraw-Hill, 2009.

**RECONOCIMIENTO ESTADÍSTICO DE PATRONES I**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16REC1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El curso se sitúa en el área fronteriza entre procesamiento de datos, análisis estadístico multivariado, ciencia de datos, aprendizaje máquina y cómputo estadístico. Nos enfocamos a la exploración, la modelación y el análisis de datos multivariados y datos complejos; estudiamos, discutimos y aplicamos los conceptos, métodos y algoritmos más importantes para problemas de visualización, agrupamiento, clasificación y predicción.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Métodos de exploración, visualización y reducción de dimensión para datos multivariados.**

- Visualización y resúmenes de datos multivariados y de sus dependencias.
- Métodos de proyección, análisis de componentes principales (PCA), escalamiento multidimensional (MDS), proyecciones aleatorias.
- Métodos kernel (KPCA), métodos locales (LLE), métodos sobre grafos (Isomap), métodos conexionistas (self organizing maps, autoencoders), métodos aleatorias (t-sne).
- Nociones básicas de exploración de minería de datos (algoritmo a priori).

**II. Métodos de agrupamiento.**

- Agrupamiento jerárquico.
- K-medias y extensiones.

- Métodos espectrales.

### III. Métodos de predicción.

- Métodos geométricos vs métodos probabilísticos. Conceptos generales.
- Clasificador Bayesiano óptimo, análisis discriminante lineal, k-NN.
- El enfoque basado en márgenes, máquinas de soporte vectorial.
- Regresión logística (revisión de regresión lineal).
- Modelo perceptrón, redes neuronales tipo feedforward.
- Árboles de decisión.
- Métodos de ensamblaje: random forests y boosting.

### IV. Tópicos selectos de métodos de Big Data y Ciencia de Datos.

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios (tanto ejercicios teóricos en papel como el análisis de datos usando casos de estudios y la redacción de reportes de análisis de datos)

Desarrollo de un mini proyecto

Lectura de publicaciones especializadas del estado del arte.

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN.

Tareas & proyecto (70%) y dos exámenes (30%).

#### BIBLIOGRAFÍA

T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman, *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction*, Springer, 2013.

G. James, D. Witten, T. Hastie, R. Tibshirani, *An Introduction to Statistical Learning*. Springer, 2017.

C. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer, 2007.

A. Izenman, *Modern Multivariate Statistical Techniques: Regression, Classification, and Manifold Learning*, Springer, 2008.



R. Duda, P. Hart, D. Stork, *Pattern Classification*, Wiley, 2000.

B. Efron, T. Hastie, *Computer Age Statistical Inference, Algorithms, Evidence, and Data Science*, Cambridge University Press, 2016.

F. Harrell. *Regression Modeling Strategies*, Springer, 2015.

RECONOCIMIENTO ESTADÍSTICO DE PATRONES II

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16REC2**

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El curso cubre temas avanzados y de frontera del análisis de datos y de reconocimiento estadístico de patrones.

TEMAS Y SUBTEMAS

- I. **Tópicos selectos de modelos lineales**
  - Modelos lineales para dimensiones altas ( $p \gg n$ )
  - *Partial least squares* y análisis de correlación canónica
  
- II. **Tópicos selectos de métodos para datos complejos**
  - Métodos basados en *kernels*
  - Métodos basados en diccionarios
  - Métodos para análisis de grafos
  
- III. **Tópicos selectos de modelos con variables latentes**
  - Métodos basados en factorización matricial
  - Métodos probabilísticos basados en variables latentes
  
- IV. **Tópicos selectos de métodos para Big Data.**
  - Algoritmos para flujos de data (sketching)
  - Métodos distribuidos e implementaciones en la nube
  - Aprendizaje profundo



#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de problemas

Desarrollo de proyectos

Análisis del estado del arte

Lectura de publicaciones especializadas

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN.

Tareas & proyecto (70%) y dos exámenes (30%).

#### BIBLIOGRAFÍA

K. Murphy, *Machine Learning: a Probabilistic Perspective*, MIT Press, 2012.

T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman, *The elements of statistical learning*, Springer, 2009.

T. Hastie, R. Tibshirani, M. Wainwright, *Statistical learning with sparsity*, Chapman & Hall, 2015.

C. Giraud, *Introduction to High-Dimensional Statistics*, Chapman & Hall, 2015

P. Bühlmann, P. Drineas, M. Kane, M. van der Laan, *Handbook of Big Data*, Chapman & Hall, 2016.

A. Courville, I Goodfellow, Y. Bengio, *Deep Learning*, MIT, 2015



**ROBÓTICA I**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16ROB1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

Introducir al estudiante en una de las componentes básicas que integran un robot, que es la componente de decisión (planificación de movimientos). Se estudian diferentes métodos de planificación de movimientos, desde esquemas clásicos hasta aquellos en el estado del arte. El tipo de preguntas que se tratan de resolver al abordar esta temática son: ¿Cómo debe moverse un robot en un espacio con obstáculos para evitar colisiones y alcanzar su meta?, ¿es posible retirar una pieza de un ensamble sin retirar otras?, ¿cuántas maniobras debe de realizar un automóvil para estacionarse en un lugar estrecho?, ¿pueden ser automatizados ciertos movimientos de los personajes de un juego de vídeo?, ¿cuál es la estrategia de movimiento para encontrar y seguir un blanco móvil?

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**1. Introducción**

- a. Diferentes aplicaciones

**2. Navegación: Diferentes enfoques**

- a. algoritmos insecto (bug algorithms)

**3. El espacio de configuraciones:** Una formulación geométrica del problema de la mudanza del piano.

- a. Conceptos topológicos básicos
- b. Espacios topológicos
- c. Variedades

- d. Trayectorias en espacios topológicos
- e. Presentación teórica de métodos completos de planificación de movimientos
- f. El GNT
- g. Aplicación a persecución-evasión

#### 4. **Cinemática, representaciones geométricas y transformaciones**

- a. Matrices de transformación homogénea
- b. Representación Denavit- Hartenberg
- c. Cadenas cinemáticas
- d. Jacobianos

#### 5. **Planificación de movimientos basada en muestreo**

- a. Mapas de caminos probabilísticos (PRM)
- b. Caracterización de la dificultad de un espacio de configuraciones
- c. Mapas de caminos probabilísticos basados en visibilidad
- d. Árboles aleatorios de exploración rápida (RRT)
- e. RRT\*

#### 6. **Detección de colisión**

- a. Introducción
- b. Diferentes métodos detección de colisión

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de problemas

Implementación de simulaciones

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones



## CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

1 examen final 45%

Proyecto Final 40%

Tareas 15 %

## BIBLIOGRAFÍA

JC Latombe, Robot Motion Plannin, Kluwer Academic Press, 1991.

JP Laumond, Robot Motion Planning and Control. Springer Verlag, 1998 (available freely at <http://www.laas.fr/~jpl>).

H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki and S. Thrun, "Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations", MIT Press, Boston, 2005

S. M. LaValle, "Planning Algorithms", Cambridge University Press, available freely at <http://msl.cs.uiuc.edu/planning/>, 2006.

Mark W. Spong, Seth Hutchinson, M. Vidyasagar, Robot Modeling and Control 1st Edition, John Wiley and Sons, Inc., 2005

**ROBÓTICA II**

CICLO

**SEMESTRE 3**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16ROB2**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

Esta materia profundiza el tema de planificación de movimientos en robótica, describiendo las principales herramientas matemático-computacionales necesarias para abordar la planificación de caminos óptimos, la planificación con restricciones de sensado, la búsqueda de objetos o el problema de persecución-evasión.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**1. Introducción**

**2. Teoría de Sistemas y Técnicas Analíticas**

- a) Ecuación de transición de estados (Car-like robot y DDR)
- b) Controlabilidad
- c) Observabilidad
- d) Estabilidad
- e) Campos Vectoriales
- f) Los corchetes de Lie
- g) Integrabilidad
- h) Controlabilidad en pequeño tiempo (STLC)
- i) Noholonómica
- j) Un planificador de movimientos para robots noholonómicos



### **3. Filtrado**

- a) Filtros combinatorios.
- b) Filtro Bayesiano
- c) Observador Simple
- d) Filtro de Kalman

### **4. Control óptimo**

- a) Programación dinámica
- b) Programación dinámica en estados con información imperfecta
- c) Principio del máximo de Pontryagin
- d) Ejemplo de persecución/evasión

### **5. Juegos y persecución-evasión**

- a) Recompensa
- b) Valor del juego
- c) Estrategias
- d) Métodos Montecarlo
- e) Restricciones cinemáticas
- f) La síntesis

#### **ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE**

Cursos presenciales

Resolución de problemas

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones

#### **CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN**

Examen final 45%



Proyecto Final 40%

Tareas 15 %

#### BIBLIOGRAFÍA

J.P. Laumond, *Robot Motion Planning and Control*, Springer Verlag, 1998 (available freely at <http://www.laas.fr/~jpl>)

*Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations*. H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki and S. Thrun, MIT Press, Boston, 2005

S. M. LaValle, *Planning Algorithms*, Cambridge University Press, 2006, (available freely at <http://msl.cs.uiuc.edu/planning/>).

D.P. Bertsekas, *Dynamic Programming and Optimal Control*. Vol I y II, Athena Scientific, second edition.

**ROBÓTICA PROBABILÍSTICA**

CICLO

**SEMESTRE 3**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16ROP1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El objetivo de esta clase es formar a los alumnos al uso de técnicas de filtrado Bayesiano tal como se les conoce en robótica, y estudiar unos casos particulares en los cuales estas técnicas están particularmente adecuadas, como el de la localización de robots móviles o el de SLAM (Simultaneous Localization and Mapping).

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Bases teóricas**

- A. Sistemas lineales
- B. Probabilidades
- C. Estimación por mínimos cuadrados

**II. Filtros Bayesianos**

- A. Derivación de las ecuaciones del filtro
- B. Propagación de estados y covarianzas
- C. Filtro Bayesiano discreto
- D. Filtro de Kalman (tiempo discreto)
- E. Filtro de Kalman (tiempo continuo)
- F. Filtro de Kalman Extendido (EKF)
- G. Filtro de Kalman *unscented*
- H. Filtro de partículas

- I. Suavizado óptimo
- J. Filtro H-infinity

### III. Localización de robots

- A. Modelos de movimiento con incertidumbre
- B. Modelos de percepción con incertidumbre
- C. Localización con filtros de Kalman
- D. Localización con filtros de partículas

### IV. Localización y Mapeo Simultáneos

- A. El problema de Localización y Mapeo Simultáneo (SLAM)
- B. SLAM con filtros de Kalman (EKF-SLAM)
- C. El algoritmo Fast-SLAM
- D. SLAM visual y aplicaciones

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de problemas

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 30%.

Examen final: 25%.

Proyecto: 30%.

Presentación de un artículo en clase: 15%.

#### BIBLIOGRAFÍA

D. Simon, *Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches*, Wiley, 2006.

S. Thrun, *Probabilistic Robotics*, MIT Press, 2005.



**TEMAS SELECTOS DE ANÁLISIS DE DATOS  
(PROCESAMIENTO DE LENGUAJE NATURAL)**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16ROP1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El lenguaje humano es un medio de comunicación muy eficaz, y a su vez extremadamente complejo. Uno de los retos a resolver en esta era del conocimiento y la información es el tratamiento del lenguaje por medios automáticos. El objetivo general de este curso es proporcionar a los estudiantes conocimientos fundamentales y avanzados del Procesamiento del Lenguaje Natural y a las herramientas disponibles actualmente, que representan un nicho de oportunidad para el desarrollo de investigación y trabajos de alto impacto en ciencias de la computación con aplicación a una amplia variedad de áreas incluyendo, ciencias sociales, humanidades, lingüística, etc.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Fundamentos**

- a. Procesamiento de Texto, Normalización y Segmentación
- b. Recursos Léxicos y Ontologías
- c. Etiquetado y Extracción de Información en Texto
- d. Información Sintáctica y Semántica

**II. Minería de Textos**

- a. Clasificación Supervisada y Patrones Lingüísticos
  - Bolsas de Términos

- Esquemas de Pesado Automáticos
- Análisis de Sentimientos y Estilo
- b. Representaciones Basadas en Conceptos
  - Análisis Semántico Latente (LSA) [PCA para Texto]
  - Asignación Latente de Dirichlet (LDA)
  - Representaciones Distribucionales de Términos

### III. Modelos de Lenguaje

- a. Modelos de Lenguaje Estadísticos
- b. Modelos de Lenguaje Neuronales
- c. Incrustaciones de Términos (Embeddings)
  - a. Word2Vec
  - b. Glove
  - c. FastText

### IV. Aprendizaje Profundo para Procesamiento de Lenguaje Natural

- a. Redes Neuronales Convolucionales
- b. Redes Neuronales Recurrentes
  - Gated Recurrent Units (GRUs)
  - Long Short Term Memories (LSTMs)
- c. Modelos Secuencia a Secuencia (Sequence2Sequence)
- d. Mecanismos de Atención en Redes Neuronales
- e. Transformadores (Transformers)
- f. Codificadores Bidireccionales de Transformadores (BERT)
- g. Tópicos Tendencia en Procesamiento de Lenguaje Natural
  - Generación Adversaria de Texto
  - Ataques Adversarios
  - Transferencia de Conocimiento

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas



Preparación de presentaciones

## CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 40%.

Exámenes (2): 30%.

Presentación final: 30%.

## BIBLIOGRAFÍA

Speech and Language Processing, Daniel Jurafsky, James H Martin. Pearson.

Natural Language Processing with Python: Analyzing Text with the Natural Language Toolkit, Steven Bird, Ewan Klein, Edward Loper. O'Reilly.

Deep Learning. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville. MIT Press.

Deep Learning with Python. Francois Chollet. Manning.

**TEMAS SELECTOS DE APRENDIZAJE MÁQUINA I  
(APRENDIZAJE MÁQUINA PROFUNDO)**

CICLO  
**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA  
**C16TAM1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

Introducir al estudiante a los conceptos teóricos de optimización, aprendizaje máquina y aprendizaje profundo, así como al desarrollo práctico de soluciones basadas en aprendizaje de máquina profundo, principalmente con el uso de redes neuronales profundas de convolución y recurrentes.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I Introducción a Aprendizaje de Automático**

1. Fundamentos de Optimización
  - a. Introducción a la optimización
  - b. Optimalidad en problemas sin restricciones
  - c. Optimalidad en Problemas con restricciones
  
2. Fundamentos de Aprendizaje Automático
  - a. Análisis de componentes principales (PCA)
  - b. Mínimos cuadrados
  - c. Regularización: Ridge (L2), Lasso (L1) y Elastic Net (L2+L1)]
  - d. Regresión Logística

**II Introducción al Aprendizaje Profundo**

3. Aprendizaje Profundo
  - a. Revisión a la regresión logística y el perceptrón
  - b. Redes multicapa
  - c. Backpropagation
  
4. Redes Profundas de Convolución (ConvNN)
  - a. Capas de convolución, Pooling, Dropout, Normalización por lotes,
  - b. Aumentación de datos
  - c. Redes pre-entrenadas para problemas con base de datos pequeñas
  - d. Variaciones en arquitecturas de NN
  
5. Redes Profundas Recurrentes
  - a. Incrustación de datos (Embedding)
  - b. Redes recurrentes profundas (RNNs)
  - c. Redes de memoria larga para términos cortos (LSTM)
  - d. Problema del gradiente evanescente
  
6. Visualización de activación en redes convolucionales
  - a. Mapas de saliencia
  - b. Mapas de activación

### **III Arquitecturas Modernas para el Aprendizaje Profundo**

7. Avances en ConvNN
  - a. Redes Residuales
  - b. Capas especiales: Concatenación, Convolución transpuesta, Lambda, Interpolación
  
8. Redes Modernas
  - a. Autocodificador Variacional
  - b. UNet para segmentación de imágenes
  - c. Redes Generadoras Antagónicas (GANs)
  - d. Redes Generadoras Antagónicas Convolucionales



## ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones

## PRE-REQUISITOS:

Manejar un lenguaje de programación (por ejemplo Matlab, Java, C), haber tomado el cursos de álgebra lineal numérica de la MCC (Deseable el de Optimización I)

## CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 50%; Exámenes (3): 50% total de exámenes

## LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

- Distribución Anaconda con notebooks Jupyter.
  - o Python 3.6+
  - o Librerías: numpy, scipy, matplotlib, sklearn, keras, pandas, sympy, Tensorflow como “backend” de Keras
- Acceso a servidor con GPU para experimentos con redes profundas

## BIBLIOGRAFÍA

1. Trevor Hastie, Robert Tibshirani and Jerome Friedman, The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction; Springer. 2 Ed. (2013). <https://web.stanford.edu/~hastie/Papers/ESLII.pdf>
2. Christopher Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning; Springer, (2016). <https://www.microsoft.com/en-us/research/people/cmbishop/prml-book/>
3. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio and Aaron Courville; Deep Learning MIT Press. (2016) <http://www.deeplearningbook.org>
4. Francois Chollet; Deep Learning with Python, Manning Pubs. Packt Publishing Ltd, (2018)



5. Mariano Rivera, Tópicos de Aprendizaje Automático: Notas de Clase, disponible electrónicamente(2018).[http://personal.cimat.mx:8181/~mrivera/cursos/temas\\_aprendizaje.html](http://personal.cimat.mx:8181/~mrivera/cursos/temas_aprendizaje.html)

#### Otro Material

- <https://www.continuum.io/downloads> <http://scikit-learn.org/stable/#>
- <https://keras.io>
- <http://www.sympy.org/en/index.html>
- <http://scikit-learn.org/stable/>

**TEMAS SELECTOS DE APRENDIZAJE MÁQUINA II  
(TEMAS AVANZADOS DE APRENDIZAJE MÁQUINA PROFUNDO)**

CICLO  
**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA  
**C16TAM2**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

Este curso explora temas avanzados de aprendizaje máquina. En particular está centrado en el Aprendizaje Profundo de Redes Neuronales Artificiales. Los temas selectos involucran problemas de visión computacional y procesamiento de lenguaje natural (PLN).

**TEMAS Y SUBTEMAS**

- I. PyTorch**
- II. Visualización de Datos**
- III. Arquitecturas avanzadas de redes convolucionales**
- IV. Autocodificadores (Autoencoders)**
- V. Redes Generadoras Antagónicas (GANs)**
- VI. Incrustaciones Profundas (Deep Embeddings)**
- VII. Modelos de Atención (Attention Models)**
- VIII. Transformadores (Transformers)**
- IX. Codificadores Bidireccionales de Transformadores (BERT)**
- X. Compresión de Modelos**
- XI. Transferencia de Conocimiento en PLN**
- XII. Aplicaciones al análisis de Imágenes**
- XIII. Aplicaciones de Visión por Computadora**
- XIV. Aplicaciones de Inferencia y Entendimiento de Lenguaje**





#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 30%,

Exámenes 30%,

Proyecto 40%

#### BIBLIOGRAFÍA

Deep Learning with PyTorch. Eli Stevens, Luca Antiga

Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems. Aurélien Géron

Ian Goodfellow, Yoshua Bengio and Aaron Courville; Deep Learning MIT Press. (2016)  
<http://www.deeplearningbook.org>

Mariano Rivera, Tópicos de Aprendizaje Automático: Notas de Clase, disponible electrónicamente(2018).[http://personal.cimat.mx:8181/~mrivera/cursos/temas\\_aprendizaje.html](http://personal.cimat.mx:8181/~mrivera/cursos/temas_aprendizaje.html)

**TEMAS SELECTOS DE GEOMETRÍA  
(GEOMETRÍA DIFERENCIAL PARA CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN)**

CICLO

**SEMESTRE 3**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16TGE1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El objetivo principal de este curso es introducir varios conceptos geométricos y topológicos en combinación con sus posibles implementaciones computacionales para facilitar el desarrollo de algoritmos prácticos cuando se trabaje con datos geométricos reales.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Superficies combinatorias (mallados)**

- a. Complejos Simpliciales
- b. Matrices de adyacencia

**II. Geometría de curvas**

- a. Curvatura de curvas suaves.
- b. Curvatura de curvas discretas
- c. Flujo de curvatura

**III. Geometría de superficies**

- a. Curvaturas media y Gaussiana
- b. Curvatura de superficies discretas
- c. Flujo de curvatura media



d. Normales a superficies

#### **IV. Cálculo Exterior Discreto**

- a. Derivada exterior discreta
- b. Estrella de Hodge discreta
- c. Teorema de Stokes

#### **V. Invariantes topológicos de superficies discretas**

- a. Característica de Euler
- b. Teorema de Gauss-Bonnet

#### **VI. El Laplaciano**

- a. Discretización con elemento finito
- b. Discretización vía DEC
- c. Aplicaciones

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 40%; Exámenes (2): 40%; Presentación Final: 20%

#### BIBLIOGRAFÍA

Keenan Crane, Discrete Differential Geometry: An applied introduction,  
<https://www.cs.cmu.edu/~kmc Crane/Projects/DGPDEC/paper.pdf>

**TEMAS SELECTOS DE IMÁGENES BIOMÉDICAS**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16TIB1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El objetivo de este curso es proporcionar al estudiante una perspectiva práctica de los métodos computacionales empleados en el desarrollo de sistemas para el diagnóstico médico asistido por computadora. Conllevando al empleo y comparación de diversas técnicas de inteligencia computacional y a la implementación de técnicas de filtrado, segmentación y clasificación, enfocadas a la solución de problemas reales que involucran el procesamiento y análisis de imágenes biomédicas.

**TEMAS Y SUBTEMAS**

- I. Introducción al Procesamiento y Análisis de Imágenes Biomédicas.**
  - a. Tipos de imágenes médicas (rayos X, Ultrasonido, RMN, PET, etc.).
  - b. Formato de intercambio de información DICOM (digital imaging and communication in medicine).
  - c. Objetivos del análisis de imágenes biomédicas.
  - d. Diagnóstico asistido por computadora.
  - e. Métodos computacionales para procesamiento y análisis de imágenes.
  
- II. Técnicas de Filtrado para el Realzado o Detección de Estructuras Arteriales**
  - a. Morfología matemática.
  - b. Filtros Gaussianos.
  - c. Filtros basados en los eigenvalores de la matriz Hessiana.
  - d. Filtro lineal escala simple.

- e. Filtro lineal de escala múltiple.
- f. Análisis de desempeño mediante curvas de ROC.

### **III. Técnicas de Segmentación.**

- a. Segmentación por valor de umbral.
- b. Segmentación por umbralización multinivel.
- c. Segmentación mediante cómputo evolutivo.
- d. Métricas de evaluación de segmentación.

### **IV. Aplicaciones de Inteligencia Computacional en Imágenes Biomédicas.**

- a. Entrenamiento para selección óptima de parámetros.
- b. Extracción de características.
- c. Selección óptima de características.
- d. Técnicas de reconocimiento de patrones para problemas de clasificación en imágenes biomédicas.

### **V. Principios de Resonancia Magnética (RM)**

#### **VI. Formación de las imágenes de RM**

- a. La Transformada de Fourier
  - 1. Aplicación en la adquisición de imágenes de RM
- b. Ruidos aditivos y multiplicativos en datos reales y complejos
- c. Métodos de cuantificación y eliminación de Ruido
- d. Segmentación de tejidos en RM y estimación de parámetros de relajación

#### **VII. Métodos de optimización no lineal y linealización en ajuste de modelos. Aplicación: Resonancia magnética sensible a difusión de Hidrógeno (DW-MRI)**

- a. Estimación de microestructura mediante DW-MRI
- b. Conectores neuronales: orientaciones, dispersión, diámetros (en el orden de micrómetros)
  - 1. Conectividad neuronal local (en el orden de milímetros)



2. Conectividad neuronal global (en el orden de centímetros) y clusterizado de fascículos cerebrales.
- c. Modelos de grafos pesados no-direccionales en conectividad

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 60%;

Primer proyecto: 20%

Proyecto final: 20%

#### BIBLIOGRAFÍA

Stefano Cagnoni, Evelyne Lutten, Gustavo Olague, "Genetic and Evolutionary Computation for Image Processing and Analysis", Hindawi Publishing Corporation, 2008.

Andries P. Engelbrecht, "Computational Intelligence an Introduction", 2nd edition, ISBN 978-0-470-03561-0, John Wiley & Sons, 2007.

Rezaul Begg, Daniel T.H. Lai and Marimuthu Palaniswami, "Computational Intelligence in Biomedical Engineering", CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008.

Erik Cuevas, Daniel Zaldívar and Marco Perez-Cisneros, "Applications of Evolutionary Computation in Image Processing and Pattern Recognition", ISBN:978-3-319-26460-8, Springer International Publishing, 2016.

Stephen L. Smith and Stefano Cagnoni, "Genetic and Evolutionary Computation: Medical Applications", Wiley, ISBN: 978-0-470-74813-8, December 2010.

Harley R. Myler and Arthur R. Weeks, "Computer Imaging Recipes in C", PTR Prentice Hall, 1993.

Rangaraj M. Rangayyan, "Biomedical Image Analysis", ISBN: 0-8493-9695-6, CRC Press, 2005.



Derek K. Jones. Editor. Diffusion MRI: Theory, Methods, and Applications. ISBN-13: 9780195369779. Oxford University Press

David A. Forsyth. Computer Vision: A Modern Approach. ISBN-13: 978-0136085928. Prentice Hall

**VISIÓN COMPUTACIONAL I**

CICLO

**SEMESTRE 2**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16VIS1**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

Este curso pretende dar los fundamentos de la Visión Computacional, desde las herramientas geométricas necesarias para modelar la formación de imágenes y la reconstrucción 3D, hasta las herramientas de procesamiento de imágenes, de probabilidades y de optimización requeridas para resolver problemas de tipo reconocimiento de objeto, segmentación de imágenes, colorización...

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Geometría de cámaras**

- a. Modelos geométricos de cámaras
- b. Geometría proyectiva
- c. Calibración de cámaras

**II. Procesamiento de imágenes de bajo nivel**

- a. Color y textura
- b. Filtros lineales y no-lineales
- c. Detección de bordes
- d. Detección de puntos característicos

**III. Geometría de múltiples vistas**

- a. Geometría de dos vistas
- b. Geometría de tres vistas



- c. Reconstrucción proyectiva, afin, Euclidiana
- d. Estereo-visión

#### IV. Rastreo

- a. Elementos generales del problema de rastreo
- b. Rastreo por filtros estocásticos
- c. Rastreo por detección

#### V. Flujo óptico

- a. Técnicas densas
- b. Técnicas ralas

#### VI. Segmentación de imágenes

- a. Segmentación por agrupamiento
- b. Segmentación por técnicas probabilísticas
- c. *Graph cuts*

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 40%; Exámenes (2): 30%; Presentación Final: 30%.

#### BIBLIOGRAFÍA

D. Forsyth and J. Ponce, *Computer Vision, a Modern Approach*. Prentice Hall, 2003.

R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, 2003.

R. Szeliski, *Computer Vision: Algorithms and Applications*, Springer, 2010.

J.E. Solem, *Programming Computer Vision with Python*, O'Reilly, 2012.

**VISIÓN COMPUTACIONAL II**

CICLO

**SEMESTRE 3**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**C16VIS2**

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

El curso Visión Computacional II explora temas avanzados de visión por computadora, tanto a bajo nivel (filtrado no-lineal, algoritmos avanzados de *inpainting*, de segmentación...), como a nivel intermedio (reconstrucción de escenas, *bundle adjustment*) o a alto nivel (reconocimiento de objetos, aprendizaje profundo).

**TEMAS Y SUBTEMAS**

**I. Visión computacional bajo nivel**

- a. Recordatorios de filtrado lineal
- b. Filtrado no-lineal
- c. Técnicas variacionales en visión por computadora
- d. Aplicaciones: *inpainting*
- e. Aplicaciones: segmentación

**II. Visión computacional de nivel intermedio**

- a. Recordatorios de geometría de múltiples vistas
- b. Estimación de la matriz fundamental
- c. Auto-calibración
- d. Estructura a partir de movimiento
- e. *Bundle adjustment*

### III. Visión computacional alto nivel

- a. Técnicas de reconocimiento: Objetos específicos
- b. Técnicas de reconocimiento: Bolsas de Palabras
- c. Técnicas de reconocimiento: Algoritmos por partes
- d. Técnicas de reconocimiento: *Boosting*
- e. Introducción al Aprendizaje Profundo

#### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones

#### CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 40%; Exámenes (2): 30%; Presentación Final: 30%

#### BIBLIOGRAFÍA

D. Forsyth and J. Ponce, *Computer Vision, a Modern Approach*, Prentice Hall, 2003.

R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, 2003.

R. Szeliski, *Computer Vision: Algorithms and Applications*, Springer, 2010.

J.E. Solem, *Programming Computer Vision with Python*, O'Reilly, 2012.